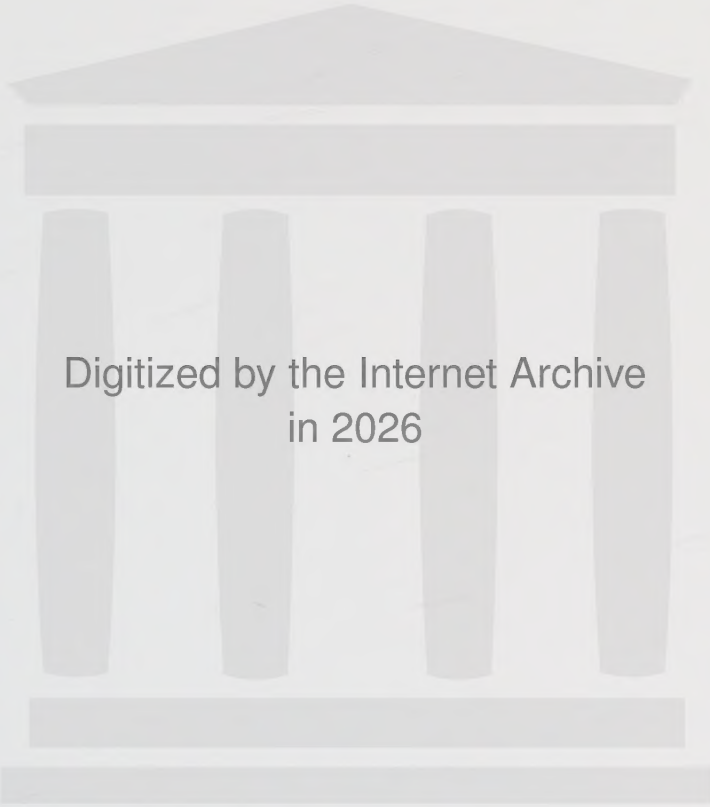


**DRUCKREDUKTION BEI DER AUFBOHRUNG
FÜR DIE MARKNAGELUNG**

KLAUS POHL

1987





Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554619_0082

Aus der Chirurgischen Klinik Innenstadt und
Chirurgischen Poliklinik der Ludwig-Maximilians-
Universität München

Vorstand Prof. Dr. L. Schweiberer

Druckreduktion bei der Aufbohrung für die
Marknagelung

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Klaus Pohl

aus

München

1987

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: PD Dr. F. Eitel.....
.....
Mitberichterstatter: 1. Prof. Dr. L. Schweiberer.....
2. Prof. Dr. C.J. Wirth.....
Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: Dr. A. Schmölder.....
Dekan: Prof. Dr. W. Spann.....
Tag der mündlichen Prüfung: 02.07.1987.....

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Einführung	1
1.2. Problemstellung	2
1.3. Literatur	2
 2. Intraoperative Messungen	 4
2.1. Material	4
2.2. Methodik	5
2.2.1. Operatives Vorgehen	5
2.2.2. Druckmessung	9
2.2.3. Bestimmung der Blutfette	12
2.2.4. Compartmentdruck- und Temperaturmessung	12
2.3. Ergebnisse	13
2.3.1. Klinische Beobachtungen	13
2.3.2. Auswertung der erhaltenen Daten	15
2.3.3. Ausgangsdruck im Markraum	16
2.3.4. Einfluß der Eröffnung der Markhöhle durch den Pfriem	19
2.3.5. Einfluß der Einführung des Bohrdorns	21
2.3.6. Druckwerte bei Aufweitung der Markhöhle durch den Handbohrer	24
2.3.7. Druckwerte bei Markraumbohrung	25
2.3.8. Bestimmung der Blutfette	41
2.3.9. Zusammenfassung der Ergebnisse aus den intraoperativen Messungen	41
 3. Untersuchung der Vascularisation	 43
3.1. Material	43
3.1.1. Vorbereitungen	43
3.1.2. Schnittebenen	44
3.2. Methodik	45
3.2.1. Histologische Verfahren	45
3.2.2. Auswertung	46
3.3. Ergebnisse	48

4. Diskussion	55
4.1. Operatives Vorgehen	55
4.2. Intraoperative Messungen	57
4.2.1. Methodik der Druckmessung	57
4.2.2. Ergebnisse der Druckmessung	58
4.2.3. Bestimmung der Blutfette	62
4.3. Untersuchung der Vascularisation	64
4.3.1. Methodik	64
4.3.2. Ergebnisse	65
5. Zusammenfassung	67
6. Anhang	69
7. Literaturverzeichnis	83
8. Danksagung	88
9. Lebenslauf	89

1. Einleitung

1.1. Einführung

Die Marknagelung nach Gerhard Küntscher existiert seit 1940 als Osteosyntheseverfahren zur Versorgung von Schaftbrüchen langer Röhrenknochen [14]. Sie beruht auf dem Prinzip der inneren Schienung [8, 14, 15, 17, 19]. Der früher V-förmige, später kleeblatt-förmige Nagel bringt über eine elastische Verklemmung in der Markhöhle eine stabile Osteosynthese zu Wege [8, 14, 15, 17, 19]. Dies traf aufgrund der sanduhrförmigen Markhöhle vorerst nur auf einen eingeschränkten Indikationsbereich von Quer- und kurzen Schrägbrüchen nahe der engsten Stelle der Markhöhle zu.

Küntscher verbesserte sein Verfahren 1950 durch die Einführung starrer Handbohrer zur Aufweitung der Markhöhle [17]. Auf diese Weise wurde die Kontaktfläche zwischen dem Marknagel und den Knochenfragmenten vergrößert, die Stabilität erhöht und der Indikationsbereich erweitert. Als Küntscher 1954 die starren Handbohrer durch elektrisch angetriebene Bohrköpfe an einer flexiblen Welle ersetzte, bedeutete dies eine weitere Verbesserung der Verfahrensweise [17]. Das Prinzip ist dabei bis heute erhalten [19]. Die unbestreitbaren Vorteile der Aufbohrung für die Marknagelung lassen jedoch deren Nachteile und Gefahren nicht ganz vergessen:

- die medulläre Blutversorgung wird nahezu gänzlich zerstört, die Diaphyse in weitem Ausmaß devascularisiert [1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 21, 24, 25, 26, 32, 38].

- während des Aufbohrens kommt es zu beträchtlichen Druckanstiegen in der Markhöhle [3, 16, 17, 22, 23, 38, 40, 41]. Dies wird neben einer Temperaturerhöhung [38] als zusätzliche Schädigung der Durchblutung der Corticalis diskutiert.

1.2. Problemstellung

Wie bei offener Reposition zu beobachten ist, kommt es während der Aufbohrung zum Austritt von Markrauminhalt und Bohrmehl am Frakturspalt [16, 22, 23, 34, 35, 38, 40, 41, 42]. Beim weiteren Vordringen des Markraumbohrers in das distale Fragment muß ebenfalls Markrauminhalt verdrängt werden, kann aber nur schlecht am Frakturspalt entweichen [4, 5, 34, 35, 38]. Aufgrund dieser Tatsachen stellt sich die Frage nach den beim Aufbohren der Markhöhle entstehenden Drucken, und ob diese Drucke durch ein zur Entlastung angebrachtes distales Bohrloch zu reduzieren sind [4, 5, 34, 35]. Diesen und im Umfeld dazu stehenden Fragen widmet sich vorliegende experimentelle Arbeit.

1.3. Literatur

Schon im Jahre 1912 haben Schultze und Behan den Druck im Markraum der nicht frakturierten Tibia des Hundes gemessen [30]. Sie ermittelten anhand eines Steigrohres, daß dort ein Unterdruck von -8 mm Hg bis -10 mm Hg herrschen müsse. Ein Jahr später führte Rothmann diese Ergebnisse auf einen Meßfehler zurück [28]. Ebenfalls unter Verwendung eines Steigrohres beobachtete er immer positive, leicht pulsierende Druckwerte. Küntscher schrieb 1942, daß bei der Marknagelung die Markhöhle nicht unter Druck gesetzt werde, da der Nagel durch seine Form nicht wie der Stempel einer Spritze wirke [15]. 1944 berichtet Häbler, daß beim Einschlagen von Oberschenkelspieß und -nagel in einen geschlos-

senen Knochen Druckerhöhungen von mehr als 20 mm Hg entstehen können [11]. Vier Jahre später mißt Küntscher den Druck im Markraum während des Einbringens des Marknagels und stellt Druckanstiege bis weit über dem systolischen Blutdruck fest [16, 17]. Er schließt daraus, daß zwischen den einzelnen Hammerschlägen längere Pausen zu machen seien, um den Druck wieder absinken zu lassen.

1950 bringt Senff zur Prophylaxe der Fettembolie ein seitliches Bohrloch im distalen Fragment an, welches zur Entlastung bei der Nagelung von Femur und Tibia dienen soll [34, 35]. Während Küntscher noch einen hohlen Führungsspieß mit einer Membran an dessen distalem Ende zur Druckmessung benutzte [16, 17], punktiert Rehm 1956 die Markhöhle mit einer Sternalpunktionsnadel und leitet den Druck an ein Kondensormanometer nach Neuhaus [22, 23]. Im gleichen Jahr mißt Süsse im Markraum der Tibia des Kaninchens und in Radius, Calcaneus und Tibia des Menschen einen leicht pulsierenden Druck von 20-30 mm Hg [39]. Süsse und Rehm nehmen an, daß dieser Druck dem Blutdruck im sinusoidalen Venensystems des Knochen entspricht. Ebenfalls über eine transcorticale Druckableitung messen Wehner, Morgenstern und Zeumer 1966 den Druck mit Hilfe eines Statham pressure transducers [40, 41]. Danckwardt-Lilieström stellt 1969 beim Aufbohren der Kaninchentibia Drucke weit über 300 mm Hg fest [3] und beschreibt 1970 eine Reduktion der avasculären Corticalis durch ein distales Entlastungsbohrloch und zusätzliches Absaugen des Markraum Inhaltes [5]. Er wendet diese Methode auch klinisch in mehreren Fällen an [6]. In der jüngsten Arbeit zu diese Thema berichten Stürmer und Schuchardt von Spitzendrucken im Markraum bis zu 1520 mm Hg [38].



2. Intraoperative Messungen

2.1. Material

Die Versuche wurden an sieben Schäferhunden und Schäferhundbastarden durchgeführt. Die Hunde hatten ein durchschnittliches Gewicht von 32,3 kg (28,5 kg bis 38 kg) und waren im Mittel 4 Jahre alt. Bei allen Hunden waren die Epiphyse-fügen fest verschlossen. Von den weiblichen Tieren war keines trächtig. (Siehe auch Tabelle 9 im Anhang).

Die Tiere wurden mit dem handelsüblichen Instrumentarium zur Aufbohrung für die Marknagelung behandelt.

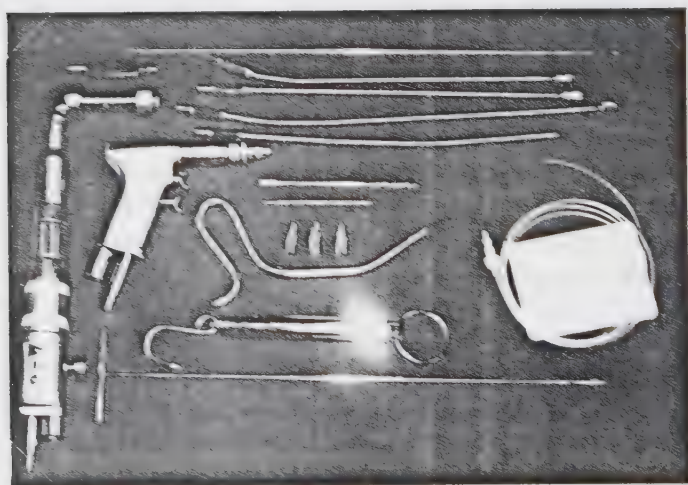


Abb. 1: Zur Aufbohrung verwendetes handelsübliches Instrumentarium. Im Bild noch zu sehen: Die Federwaage, mit welcher die am Bohrer aufgewendete Kraft gemessen wurde, und die Druckleitung, welche zur Messung des Druckes im Markraum benutzt wurde. Zum Einbringen der Druckleitungen wurde der Bohrer mit 2 mm Durchmesser, zur Bohrung des Druckentlastungsloches der Bohrer mit 3,2 mm Durchmesser verwendet.

2.2. Methodik

2.2.1. Operatives Vorgehen

Das operative Vorgehen war bei allen sieben Hunden gleich. Nach Prämedikation mit 1%-igem Vetranquil (1 ml/10 kg Körpergewicht [33]) i.m., wurden in Rückenlage bei Narkose mit Narkoren und Novalgin beide Tibiae und Femora nacheinander mit Markraumbohrern steigenden Durchmessers aufgebohrt. Der Blutdruck wurde blutig in der A. carotis communis gemessen und über einen peripheren Zugang mit Infusionen von Ringer-Lösung konstant gehalten. Im Einzelnen wurde an der Tibia folgendermaßen vorgegangen [Abb. 2]: Die Länge vom Kniegelenksspalt zur Spitze des Malleolus medialis wurde ermittelt und die Strecke gedrittelt. Am proximalen und distalen Drittelpunkt wurde nach einem Hautschnitt von 1 cm Länge zum Knochen präpariert, das Periost in einer Länge von 5 mm gespalten und etwas abgeschoben. In hier gesetzte Bohrlöcher von 2 mm Durchmesser wurden die Druckmeßleitungen eingesetzt und der Druck im Markraum registriert. In eine der beiden Tibiae wurde das Druckentlastungsloch in der Mitte zwischen distalem Drittelpunkt und Spitze des Malleolus medialis gebohrt. Nach Hautschnitt und Spaltung des Ligamentum patellae wurde die Markhöhle mit dem Pfriem eröffnet, der Bohrdorn eingeführt und mit Bohrern steigenden Durchmessers aufgebohrt - beginnend mit 7 mm, 8 mm, 9 mm, 9,5 mm, 10 mm, 10,5 mm bis zu 11 mm.

Am Femur wurde nach Vermessung des Knochens von der Spitze des Trochanter major zum Kniegelenksspalt und Drittelung der Strecke ein langer Hautschnitt über dem Tractus, iliotibialis gemacht. Nach Präparation zwischen den Muskeln zum Knochen, Spaltung des Periost, Anbringen der Druckmeßleitungen und des Entlastungsloches wurde die Markhöhle am Trochanter major mit dem Pfriem eröffnet. Um eine

optimale Lage des Bohrdorns zu erhalten wurde noch vor Einsetzen des Bohrdorns mit einem Handbohrer mit 6 mm Durchmesser bis an die distale Metaphyse aufgebohrt. Danach wurde der Bohrdorn eingeführt und mit Markraumbóhrern steigenden Durchmessers (von 7 mm bis 11,5 mm) aufgebohrt. (Abb. 3)

Bei jedem der sieben Hunde wurde je eine Tibia und ein Femur mit Entlastungsloch und zum Vergleich die Tibia und der Femur der Gegenseite ohne Entlastungsloch aufgebohrt.

Um den Bohrvorgang standardisieren zu können, wurde die benötigte Zeit gestoppt und die aufzuwendende Kraft am Bohrgerät über ein Stabdynamometer registriert. (Abb. 4)

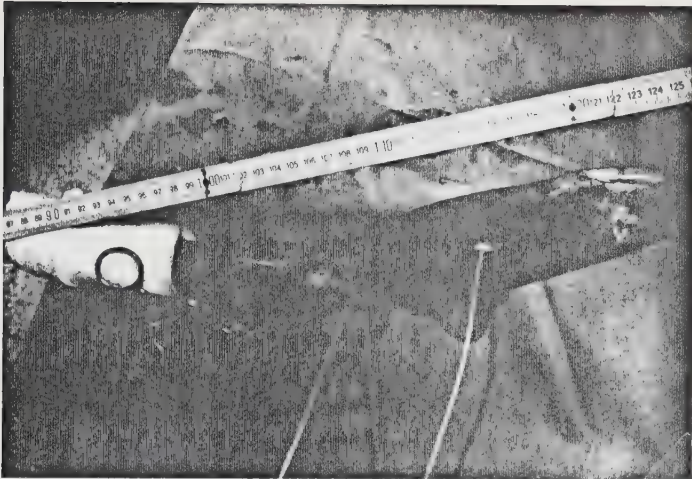


Abb. 2: OP-Situs an der Tibia mit Entlastungsloch (mit Wundspreizer offengehalten). Die Druckmeßleitungen nehmen den Druck am proximalen und distalen Drittelpunkt auf. Das Entlastungsloch liegt in der Mitte zwischen distalem Drittelpunkt und Spitze des Malleolus medialis. Der Zugang zur Markhöhle mit dem Pfriem wird nach Hautschnitt und Spaltung des Ligamentum patellae geschaffen.



Abb. 3: OP-Situs am Femur: Die Druckmeßleitungen laufen zwischen den Muskellogen zum proximalen und

distalen Drittelpunkt. Das Entlastungsloch in der Mitte zwischen distalem Drittelpunkt und Kniegelenksspalt wird durch einen Wundspreizer offen gehalten. Der Zugang zur Markhöhle erfolgt über einen separaten kleinen Hautschnitt am Trochanter major. Aus dem Entlastungsloch tritt während des Bohrganges Markrauminhalt aus.

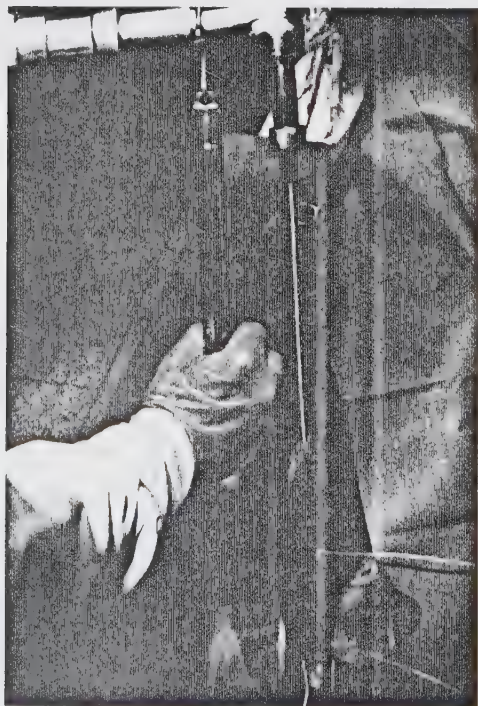


Abb. 4: Aufbohrung an der Tibia. Die aufzuwendende Kraft wird über eine Federwaage gemessen, die Zeit gestoppt.

2.2.2. Druckmessung

Die Drucke im Markraum wurden an Tibiae und Femora proximal und distal an deren Längendrittelpunkten gemessen. (Abb. 5)

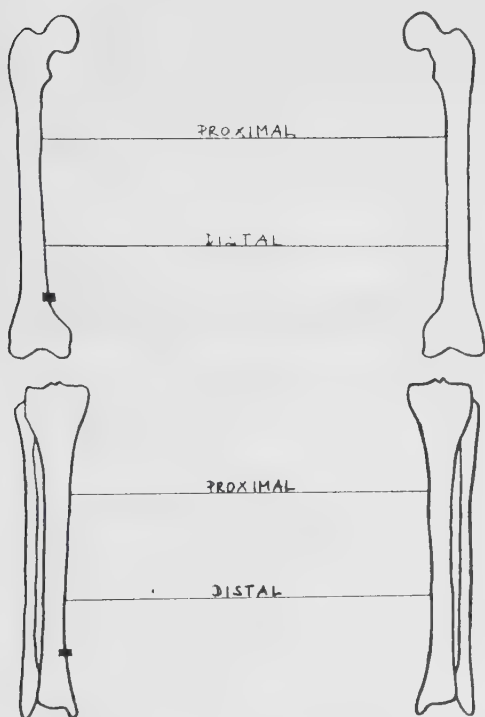


Abb. 5: Übersicht über die Druckmessung: proximal und distal an den Längendrittelpunkten von Femora und Tibiae. Das Entlastungsloch wird angedeutet durch den kleinen schwarzen Balken.

In Vorversuchen wurde der optimale Ansatz zur Druckableitung in der Corticalis ermittelt. Die Druckleitung mit 2 mm Außendurchmesser (Lectro-cath 1155, Fa. Vygon) wird in ein 2 mm Bohrloch gerade so weit eingesetzt, daß sie nicht in den Markraum vorragt. Warum dieses Verfahren gewählt wurde, wird ausführlich in der Diskussion der Methodik der Druckmessung besprochen.

Jede Druckleitung war über einen 3-Wege-Hahn zur Entlüftung des Systems mit einem Statham pressure transducer verbunden. Das System wurde luftblasenfrei mit Ringer-Heparin-Lösung gefüllt. Die Statham waren an einen Meßverstärker der Firma Gruber mit auf 1000 mm Hg erweitertem Meßbereich angeschlossen. Die eingehenden Daten wurden simultan auf einem höchst empfindlichen Mehrkanalschreiber mitgeschrieben. [Abb.6, 7]

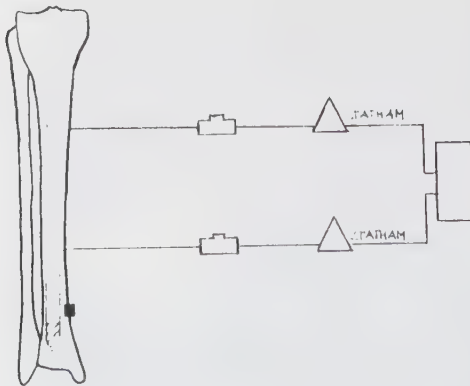


Abb. 6: Aufbau zur Druckmessung an der Tibia, schematisch dargestellt: der kleine schwarze Balken symbolisiert das Entlastungsloch. Vor die als Dreiecke dargestellten Statham ist je ein 3-Wege-Hahn zur Entlüftung des Systems vorgeschaltet. Die Statham sind an einem Meßverstärker mit Mehrkanalschreiber (großes Rechteck) angeschlossen.

Es waren vier Meßbereiche möglich: 0-100 mm Hg, 0-200 mm Hg, 0-400 mm Hg und 0-1000 mm Hg. Der Papiervorschub konnte auf vier verschiedenen Geschwindigkeiten laufen: 2,5 mm/s, 5 mm/s, 12,5 mm/s, 25 mm/s [Abb.7]

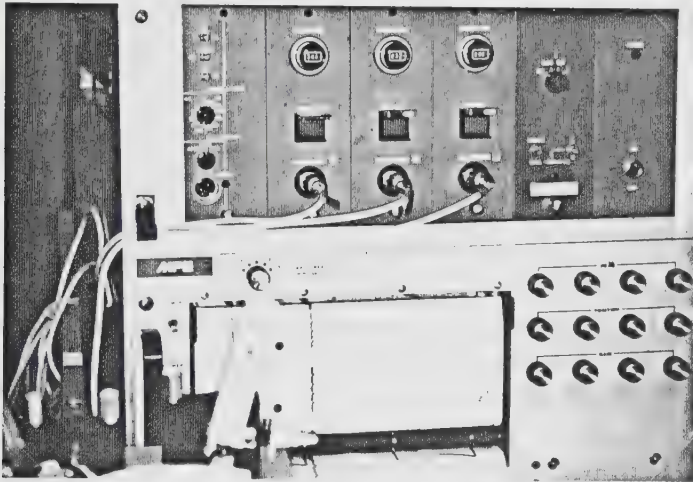


Abb. 7: Meßverstärker (Fa. Gruber) mit Mehrkanalschreiber im Vordergrund. Statham-Druckaufnehmer mit 3-Wege-Hahn zur Entlüftung des Systems mit Ringer-Heparin-Lösung.

Vor jedem Versuch erfolgte die Eichung mit einem Präzisionsmanometer, vor jeder Messung der Nulllinienabgleich gegen den Luftdruck. Gemessen wurden folgende Drücke:

- Ausgangsdruck im Markraum
- Druck im Markraum nach Bohrung des Entlastungsloches
- Druck während der Eröffnung der Markhöhle mit dem Pfriem
- am Femur: Druck während der Aufweitung mit dem Handbohrer 6 mm
- Druck beim Einsetzen des Bohrdorn
- Drucke bei den Markraumbóhrern von 7 mm bis 11,5 mm Durchmesser

2.2.3. Bestimmung der Blutfette

Die Blutfette, Triglyceride und Cholesterin, wurden peripher in der V. femoralis communis der gerade behandelten Seite und zentral der A. carotis communis bestimmt. Die Blutentnahmen erfolgten simultan, vor Manipulation am Knochen, nach dem ersten und nach dem letzten Bohrgang an jedem behandelten Knochen. Insgesamt wurde pro Hund 12 mal Blut peripher und 12 mal Blut zentral entnommen. (Je 3 Entnahmen bei den 4 behandelten Knochen, Tabelle 29 im Anhang). Der Hämatokrit und die Hämoglobinkonzentration wurden während des Versuchs vor jeder Aufbohrung eines Knochens und nach der letzten Aufbohrung, also insgesamt 5 mal bestimmt, um die Verdünnung des Blutes durch intraoperative Infusionsgaben überwachen zu können. Insgesamt wurden die Fettbestimmungen an 5 Hunden, also 20 Aufbohrungen durchgeführt.

2.2.4. Compartmentdruck- und Temperaturmessung

Der Druck im Tibialis-anterior-Compartment wurde bei den ersten beiden Hunden auf beiden Seiten gemessen. Dazu wurde eine mit Ringerlösung gefüllte Braunüle (1,7 mm Durchmesser, Fa. Viggo) in die Muskulatur des Compartment eingestochen und luftblasenfrei an einen Statham-Druckaufnehmer angeschlossen. Die Drucke wurden an einem Meßverstärker digital angezeigt und regelmäßig registriert. Nachdem nach vier Messungen keine Änderung des Compartmentdruckes eingetreten war und die Versuchsanordnung ohne Osteotomie dies auch nicht erwarten ließ, wurden keine weiteren Messungen mehr durchgeführt.

Die Temperatur wurde ebenfalls an den ersten beiden Hunden subperiostal gemessen. Die Temperatursonden wurden unmittelbar neben den Druckmeßpunkten unter das abgelöste Periost geschoben und eingenäht. Insgesamt wurde an 8 Knochen je-

weils proximal und distal die subperiostale Temperatur registriert. Es ergaben sich außer geringen Schwankungen um Zehntelgrade nach oben und unten keine Veränderungen. Deshalb wurde auch die Temperaturmessung nach den ersten beiden Hunden eingestellt.

2.3. Ergebnisse

2.3.1. Klinische Beobachtungen

Das Druckentlastungsloch wurde mittels eines Wundspreizers von Weichteilen unbedeckt gehalten (Abb. 2,3,4,8) und während der einzelnen Arbeitsgänge beobachtet. Bei der Eröffnung der Markhöhle mit dem Pfriem konnte kein Austritt von Markrauminhalt aus dem Entlastungsloch beobachtet werden. Nach Verschieben des Bohrdorns trat bisweilen Mark aus, beim Handbohrer und den ersten Markraumbohrern trat konstant Mark aus (Abb. 8). Nach den ersten Bohrgängen ging die Menge an austretendem Mark stark zurück.

Bei manchen Bohrungen wurde die proximale oder die distale Druckleitung angebohrt, aus ihrem Kanal in der Corticalis gedrückt oder mit Mark zugesetzt.

Bisweilen waren die Rillen eines Markraumbohrers mit Mark und Bohrmehl zugesetzt (Abb. 9). In diesem Fall wurde der Bohrer zurückgezogen, gesäubert und wieder eingesetzt.

Die gestoppte Zeit für einen Bohrgang betrug im Mittel 7,3 Sekunden, die aufzuwendende Kraft lag im Mittel bei 24 N. Im proximalen und distalen Drittel der Markhöhle waren die benötigte Zeit und der Kraftaufwand geringer als im mittleren Drittel, wo am meisten Knochen von der Corticalis weggebohrt werden mußte. Die einzelnen Meßwerte sind im Anhang tabellarisch aufgelistet (Tabelle 14 und 15).

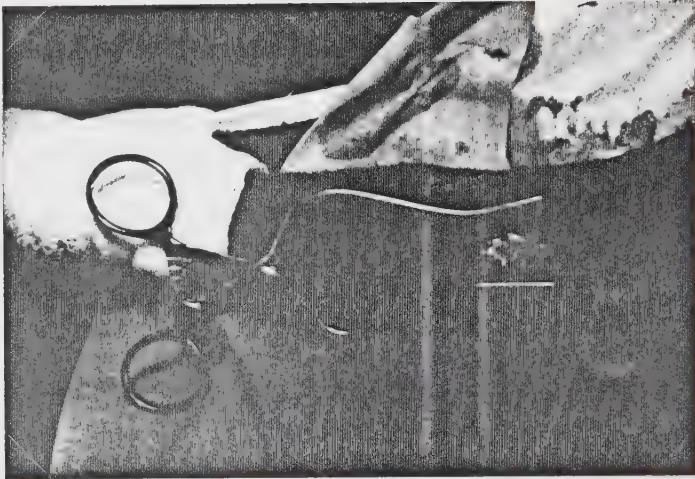


Abb. 8: Austritt von Markrauminhalt aus dem Entlastungsloch während eines Bohrganges mit dem ersten pneumatisch angetriebenen Markraumborher in der Tibia. Das Entlastungsloch wird von einem Wundspreizer offen gehalten. Darüber ist die distale Druckmeßleitung zu sehen.



Abb. 9: Die Rillen des Bohrkopfes sind mit Mark und Bohrmehl fest zugesetzt. Der Bohrkopf muß gesäubert werden.

2.3.2. Auswertung der erhaltenen Daten

Die Ausgangsdrucke wurden an den vier Meßpunkten getrennt ermittelt (Femur proximal, Femur distal, Tibia proximal und Tibia distal). Beide Seiten (mit und ohne Entlastungsloch) wurden dazu gemeinsam herangezogen. Der Druck im Markraum nach dessen Eröffnung wurde zum einen nach Bohrung des Entlastungsloches (auf der Seite mit Entlastungsloch), zum anderen nach Eröffnung des Markraumes mit dem Pfriem (auf der Seite ohne Entlastungsloch) ermittelt. Im Seitenvergleich mit und ohne Entlastungsloch ergab sich kein Unterschied für die Arbeit mit dem Pfriem. Es wurden alle erhaltenen Werte zu einer gemeinsamen Auswertung an den vier Meßpunkten herangezogen. Auch der Bohrdorn wurde nicht im Hinblick auf eine mögliche Druckreduktion ausgewertet, da die Vorgehensweise nicht genügend standardisierbar war.

Handbohrer und Markraumborher wurden im strengen Seitenvergleich ausgewertet. Jeder Bohrdurchmesser wurde an jeder Lokalisation auf die Drucke mit und ohne Entlastungsloch untersucht. Konnte bei einem Hund an einem Meßpunkt der Wert der einen Seite nicht ermittelt werden, so wurde auch der korrespondierende Wert nicht in die Auswertung aufgenommen. Gründe für den Ausfall eines Meßwertes lagen meist in einer Beschädigung oder Beeinträchtigung der Druckleitung in der Corticalis. Auch wenn Kraftaufwand oder benötigte Zeit aus einem vernünftigen Rahmen fielen wurden die Meßdaten nicht in die Auswertung übernommen. Die Werte der einzelnen Bohrer wurden für die vier Meßpunkte gemittelt und auf eine mögliche Druckreduktion untersucht. Deren Signifikanz wurde mittels des Wilkoxon-Paardifferenzen-Tests [29] (Tabellen 24 - 27 im Anhang) untersucht. Abschließend wurden alle Werte mit Entlastungsloch mit allen Werten ohne Entlastungsloch an den vier Meßpunkten verglichen.

Werte über 1000 mm Hg, das heißt Werte, welche den Meßbereich überschritten, wurden mit 1000 mm Hg in die Auswertung übernommen.

2.3.3. Ausgangsdruck im Markraum (Abb. 10, 11, 12)

Der Druck in der Markhöhle schwankt pulssynchron. Die gemittelten Werte an den vier Meßpunkten sind Tabelle 1 zu entnehmen, sämtliche Primärdaten finden sich im Anhang (Tabelle 10). Beim Bohren des Entlastungsloches entstehen kurze Druckspitzen bis zu 240 mm Hg proximal und 340 mm Hg distal. Die Manipulation in der Markhöhle kurz vor und während des Zurückziehens des 3,2 mm-Bohrers zeigt sich in einem unruhigen Kurvenverlauf oder weiteren Druckspitzen nach der ersten Druckspitze.

Danach sinkt der Druck im Markraum systolisch 6 mm Hg bis 18 mm Hg, diastolisch 5 mm Hg bis 14 mm Hg.

Tabelle 1: Mittelwerte des Ausgangsdruckes im Markraum an den vier Meßpunkten vor und nach Eröffnung der Markhöhle [mm Hg].

[mm Hg]	Vor Eröffnung der Markhöhle		Nach Eröffnung der Markhöhle	
	systol.	diastol.	systol.	diastol.
Tibia proximal	52	40	42	31
Tibia distal	51	40	33	26
Femur proximal	36	31	30	26
Femur distal	35	32	28	27

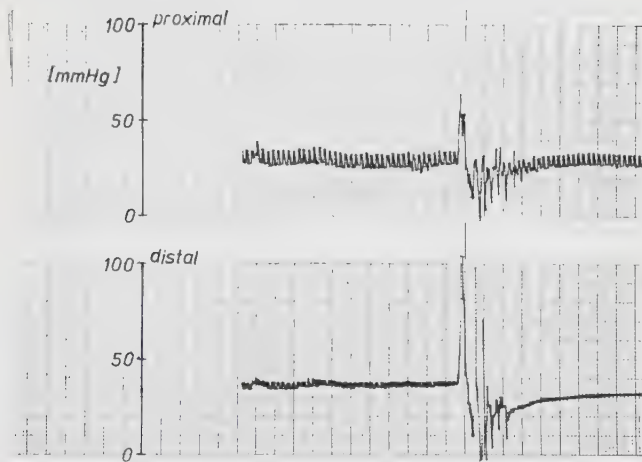


Abb. 10: Hund 6 Femur mit Entlastungsloch. Meßbereich 0-100 mm Hg; Papiervorschub 2,5 mm/s. Der Ausgangsdruck im Markraum vor Bohren des Entlastungsloches beträgt proximal etwa 34/25 mm Hg und distal 38/34 mm Hg. Nachher beträgt er proximal 33/27 mm Hg, distal um 32 mm Hg. Beim Eindringen des Bohrers in den Markraum ist eine Druckspitze von proximal 64 mm Hg und distal über 100 mm Hg zu erkennen. Die nachfolgenden Schwankungen sind auf Manipulationen in der Markhöhle mit dem Bohrer zurückzuführen.

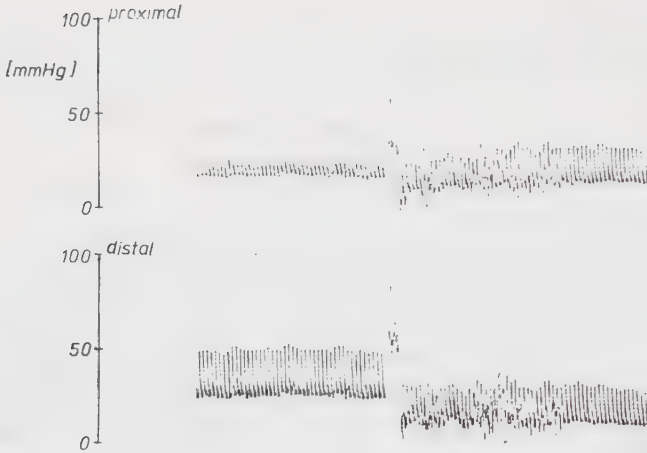


Abb. 11: Hund 7 Tibia mit Entlastungsloch; Meßbereich 0-100 mm Hg; Papiervorschub: 2,5 mm/s. Der Ausgangsdruck im Markraum beträgt vor Bohrung des Entlastungsloches proximal 45/18 mm Hg, distal 50/22 mm Hg. Nachher beträgt der Druck proximal 31/12 mm Hg, distal 30/10 mm Hg. Während des Bohrens entstehen proximal und distal Druckspitzen über 100 mm Hg mit Nachschwankungen.

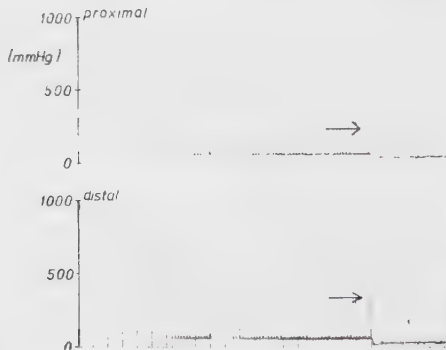


Abb. 12: Hund 5 Tibia mit Entlastungsloch; Meßbereich 0-1000 mm Hg; Papiervorschub 2,5 mm/s. Der Ausgangsdruck schwankt pulssynchron, was sich an der oben mitgeschriebenen Blutdruckkurve in der

A. carotis communis gut erkennen läßt. Er beträgt vor Bohrung proximal 75/60 mm Hg und distal 80/60 mm Hg. Nach der Bohrung beträgt er noch proximal 50/40 mm Hg, distal 45/35 mm Hg. Während der Bohrung entstehen kurze Druckspitzen proximal von 240 mm Hg, distal von 340 mm Hg. Diese sind so extrem kurzzeitig, daß der Schreiber sie nur schwach zu Papier bringen kann. Im Original sind diese Druckspitzen besser zu erkennen als in der hier dargestellten Photographie. Die beiden Pfeile sollen das Auffinden der Druckspitze erleichtern.

2.3.4. Einfluß der Eröffnung der Markhöhle durch den Pfriem (Abb. 13, 14)

Bei der Eröffnung der Markhöhle mit dem Pfriem entsteht ein diskontinuierlicher Kurvenverlauf. Die Druckspitzen betragen im Mittel in der Tibia proximal 84 mm Hg, distal 66 mm Hg und im Femur proximal 79 mm Hg, distal 67 mm Hg. Die höchsten registrierten Werte betrugen proximal im Femur 220 mm Hg und proximal in der Tibia 140 mm Hg. In Tibia und Femora ohne Entlastungsloch kann nach Eröffnung der Markhöhle ein ähnliches Absinken des Druckes im Markraum wie nach Bohrung des Entlastungsloches gefunden werden. (gemessene Werte in Tabelle 11 im Anhang).

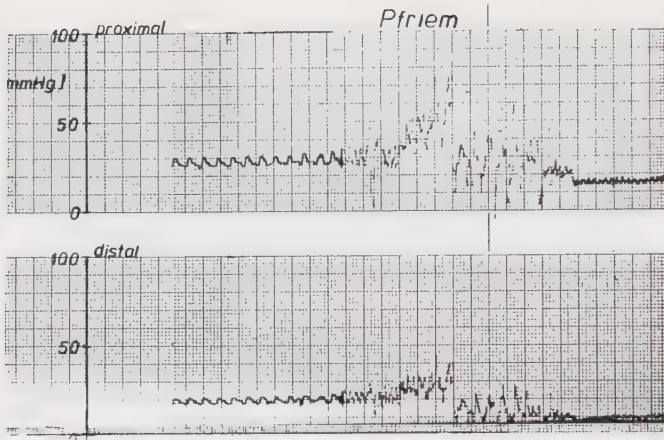


Abb. 13: Hund 5 Tibia ohne Entlastungsloch; Meßbereich 0-100 mm Hg; Papiervorschub 5mm/s. Der Ausgangsdruck im Markraum vor Eröffnung der Markhöhle mit dem Pfriem beträgt proximal 31/25 mm Hg, distal 22/18 mm Hg; nachher beträgt er noch proximal 18/14 mm Hg, distal 10/8 mm Hg. Während der Arbeit mit dem Pfriem entstehen Druckspitzen proximal bis 75 mm Hg, distal bis 44 mm Hg. Auch negative Druckspitzen werden registriert.

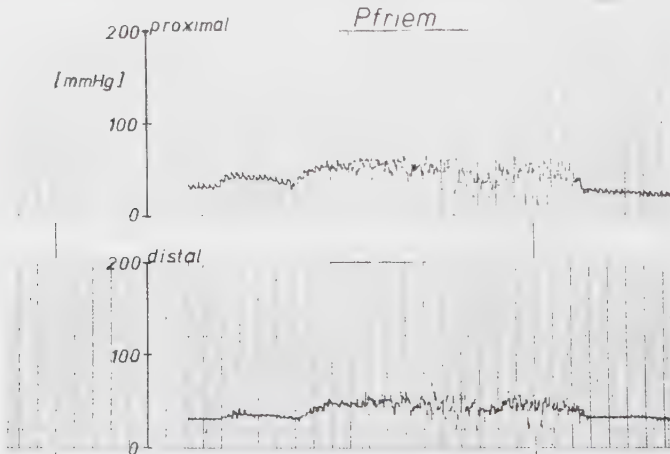


Abb. 14: Hund 5 Femur links ohne Entlastungsloch; Meßbereich 0-200 mm Hg, Papiervorschub 2,5 mm/s. Der Ausgangsdruck im Markraum (etwa der erste Zenti-

meter der registrierten Kurve) beträgt vor der Arbeit mit dem Pfriem proximal 35/28 mm Hg, distal um 32 mm Hg. Nachher beträgt er proximal noch 26/22 mm Hg langsam weiter sinkend und distal um 32 mm Hg. Während der Arbeit mit dem Pfriem entstehen Druckspitzen proximal von 80 mm Hg, distal bis zu 70 mm Hg.

2.3.5. Einfluß der Einführung des Bohrdorns (Abb. 15, 16, 17)

Die Druckentwicklung beim Einführen des Bohrdorns ist für Femur und Tibia unterschiedlich zu betrachten, da der Bohrdorn in der Tibia das erste Instrument ist, das den Markraum verletzt, im Femur jedoch einen vom Handbohrer präformierten Kanal findet.

Tibia: Die entstehenden Druckspitzen sind abhängig von der Geschwindigkeit des Vorschiebens zur distalen Metaphyse. Bei raschem Vorschieben kommt es zu Drucken bis über 1000 mm Hg, sowohl proximal als auch distal. Schiebt man den Bohrdorn langsamer vor, entstehen niedrigere Druckspitzen. Diese können dem ruckartigen Überwinden kleiner Hindernisse im Markraum zugeordnet werden. Danach fällt der Druck auf nahezu Null ab.

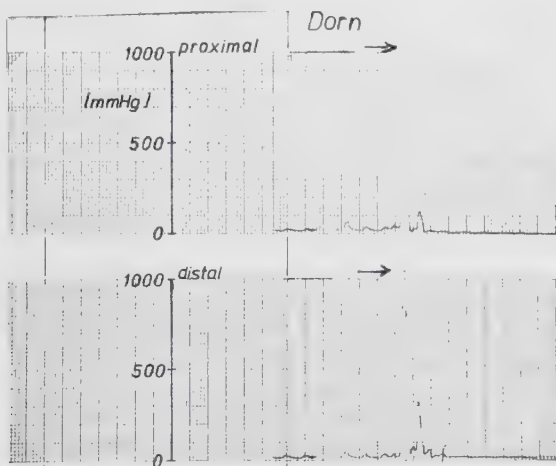


Abb. 15: Hund 7 Tibia mit Entlastungsloch; Meßbereich 0-1000 mm Hg, Papiervorschub: 5 mm/s. Die vor

Einführung des Bohrdorns noch zu sehenden pulssynchronen Schwankungen des Druckes im Markraum, sind nachher nicht mehr feststellbar und der Druck geht gegen Null. Beim Verschieben des Bohrdorns kommt es proximal und distal zu sehr kurzen Druckspitzen von über 1000 mm Hg. Der Bohrdorn wurde rasch zur distalen Metaphyse vorgeschoben. Wegen der schnellen Bewegung des Schreibers sind nur die Umkehrpunkte (im Original deutlicher als in der Photographie) zu erkennen. Diese sind mit Pfeilen markiert worden.

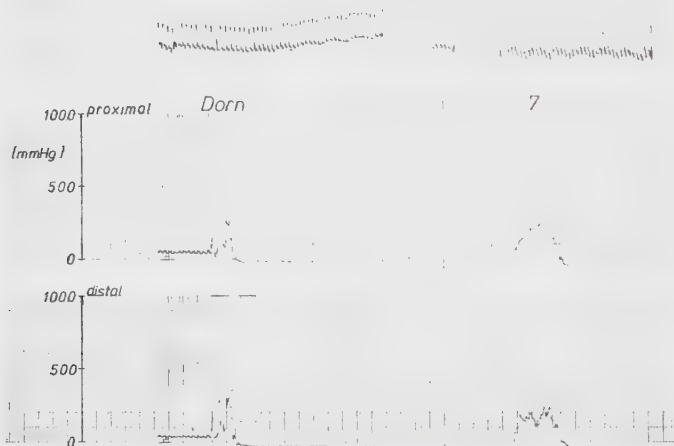


Abb. 16: Hund 5 Tibia mit Entlastungsloch; Meßbereich 0-1000 mm Hg, Papiervorschub: 2,5 mm/s; Man sieht vor Einführung des Bohrdorns pulssynchrone Druckschwankungen (Vergleich zur oben mitgeschriebenen Blutdruckkurve aus der A. carotis comm.) proximal von 50/40 mm Hg, distal von 45/35 mm Hg. Der Dorn wird langsam in etwa 4 Sekunden zur distalen Metaphyse vorgeschoben. Bei jedem kurzen Anhalten im Markraum sinkt der Druck rasch ab, um nach Überwinden des Hindernisses wieder eine Druckspitze zu erzeugen. Proximal entstehen Druckspitzen bis 390 mm Hg, distal bis 400 mm Hg. Nach Einführen des Dorns ist der Druck gleich Null. Bei der nachfolgenden Aufbohrung mit dem Bohrer mit 7 mm Durchmesser entstehen proximal Drucke bis zu 300 mm Hg, distal bis 340 mm Hg.

Femur: Da der Bohrdorn hier kaum mehr Markkrauminhalt zu verdrängen hat, entstehen im Mittel nur relativ geringe Drucke von 110 mm Hg proximal und 151 mm Hg distal. Die höchste gemessenen Werte lagen bei 180 mm Hg proximal und 280 mm Hg distal (Abb. 17, Meßwerte in Tabelle 12 im Anhang).

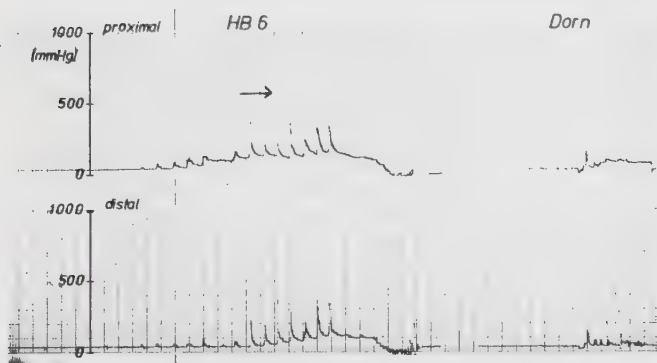


Abb. 17: Hund 5 Femur mit Entlastungsloch; Meßbereich 0-1000 mm Hg; Papiervorschub 2,5 mm/s. Der Handbohrer (HB6) erzeugt Druckspitzen von proximal bis zu 570 mm Hg und distal bis zu 370 mm Hg. Beim Herausdrehen des Bohrers entstehen negative Drucke. Der höchste Wert proximal ist früher zu finden, d.h. wenn der Bohrer im proximalen Drittel der Markhöhle ist, der höchste Wert distal ist zu finden, wenn der Bohrer im distalen Drittel der Markhöhle angelangt ist. Der Bohrdorn erzeugt nur noch Drucke von proximal 180 mm Hg und distal 280 mm Hg.

2.3.6. Druckwerte bei Aufweitung der Markhöhle durch den Handbohrer (Abb. 17, 18)

Die manuelle Betätigung des Handbohrers spiegelt sich im Verlauf der Druckkurve wieder. Jede Umdrehung am Handbohrer entspricht einer Druckspitze. Der Druck sinkt nach jeder Druckspitze ab, meist jedoch nicht bis auf das Ausgangsniveau. Beim Herausdrehen des Bohrers entstehen mitunter auch negative Druckwerte (Abb. 17, 18). Die gemittelten Werte sind der Tabelle 2 zu entnehmen, sämtliche Primärdaten finden sich im Anhang in Tabelle 13.

Tabelle 2: Handbohrer, 6 mm Durchmesser: Mittelwerte, Druckreduktion

[mm Hg]	Femur proximal	Femur distal
ohne Entlastungsloch	726	733
mit Entlastungsloch	646	470
Druckreduktion	11,1 %	35,9 %

Proximal wurde auf beiden Seiten der Meßbereich von 1000 mm Hg zwei mal überschritten, distal ohne Entlastungsloch ebenfalls zweimal, mit Entlastungsloch einmal. Der Wilcoxon Paardifferenzen-Test war proximal wegen zu weniger Werte nicht anwendbar. Distal ergab er statistisch keinen signifikanten Unterschied bei 5 Wertepaaren.

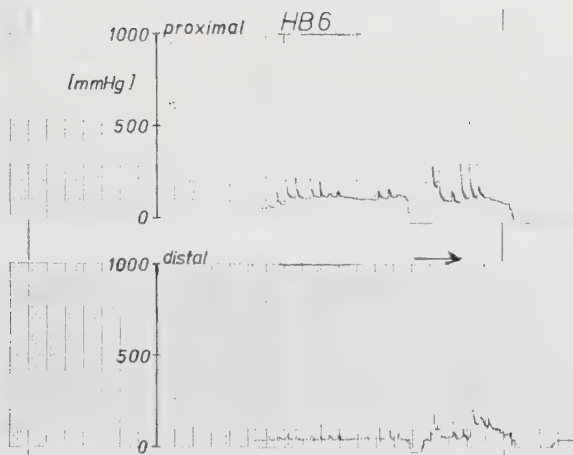


Abb. 18: Hund 4 Femur ohne Entlastungsloch; Meßbereich 0-1000 mm Hg, Papiervorschub 2,5 mm/s. Bei der Aufweitung der Markhöhle mit dem Handbohrer mit 6 mm Durchmesser (HB6) entstehen proximal Druckspitzen bis 570 mm Hg, distal bis über 1000 mm Hg.

2.3.7. Druckwerte bei Markraumbohrung (Abb. 19 bis 34)

Die Druckkurve bei der Arbeit mit den pneumatisch angetriebenen Markraumbohrern zeigt einen zweigipfligen Verlauf. (Abb. 19, 20). Die ersten Maxima entstehen beim Vordringen im proximalen Drittel der Markhöhle. Unter Röntgendurchleuchtung sieht man, daß die Drucke am höchsten sind, wenn der Bohrkopf den jeweiligen Meßpunkt passiert. Beim Bohren im proximalen Drittel ist der Druck proximal höher als distal, im distalen Drittel, distal höher als proximal. Im mittleren Drittel der Markhöhle, wo der Bohrvorgang durch engen Knochenkontakt verlangsamt ist, sinken die Drucke auf niedrigere Werte ab. Insgesamt sind distal geringfügig höhere Werte als proximal zu verzeichnen. In Femora und Tibiae mit Entlastungsloch sind die Druckspitzen niedriger und der Druckabfall beim Bohren im mittleren Drittel ist größer. Beim Herausziehen des Bohrers sinkt der Druck schnell ab, wird manchmal sogar negativ.

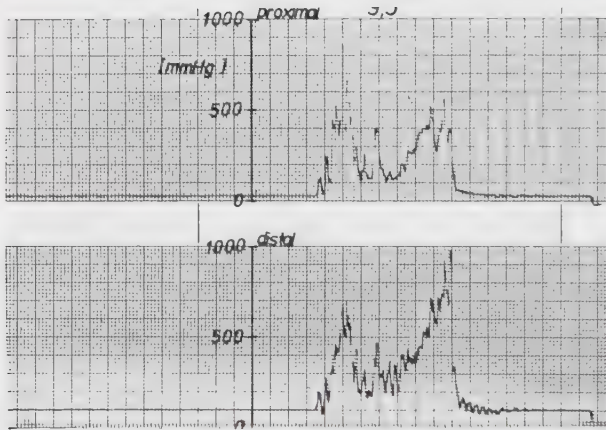


Abb. 19: Hund 6 Tibia ohne Entlastungsloch; Meßbereich 0-1000 mm Hg; Papiervorschub: 5 mm/s. Dauer etwa 10 Sekunden. Die Druckkurve des Bohrers mit 9,5 mm Durchmesser (zuvor wurde mit 7 mm, 8 mm und 9 mm aufgebohrt) zeigt proximal und distal einen zweigipfligen Verlauf. Die ersten Maxima entstehen beim Vordringen des Bohrers im proximalen Drittel der sanduhr-förmigen Markhöhle mit Druckspitzen proximal von 850 mm Hg und distal bis 700 mm Hg. Im mittleren Bereich der Markhöhle, wo der Bohrvorgang durch Knochenkontakt verlangsamt ist, sinken die Drucke auf niedrigere Werte um 200 mm Hg proximal und um 300 mm Hg distal mit einzelnen kurzen Druckspitzen bis 460 mm Hg. Im distalen Drittel der Markhöhle entstehen die zweiten Maxima mit proximal bis zu 560 mm Hg und distal bis zu 980 mm Hg. Beim Herausziehen sinken die Drucke rasch ab.

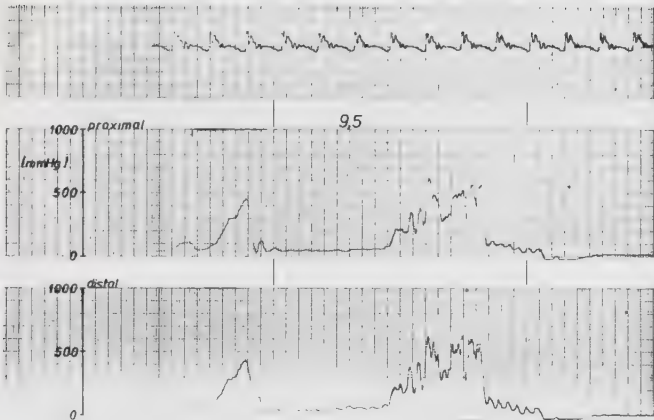


Abb. 20: Hund 6 Tibia mit Entlastungsloch; Meßbereich 0-1000 mm Hg Papiervorschub 12,5 mm/s; Dauer etwa 11 Sekunden. Der hier gezeigte Druckkurvenverlauf des Bohrers 9,5 mm entspricht dem in Abb. 19 gezeigten Bohrer ohne Entlastungsloch. Die ersten Maxima liegen proximal bei 450 mm Hg und distal bei 430 mm Hg. Im mittleren Drittel sinkt der Druck proximal und distal auf unter 100 mm Hg ohne nennenswerte Druckspitzen. Im distalen Drittel der Markhöhle erreichen die Maxima der Druckspitzen proximal 600 mm Hg und distal 620 mm Hg. Beim Herausziehen des Bohrers sinkt der Druck schnell ab.

Betrachtet man die Aufbohrung einer Tibia oder eines Femur mit sieben bis acht Bohrgängen hintereinander, so stellt man fest, daß während der ersten vier Bohrgänge relativ hohe Drucke entstehen (Abb. 21-24). Bei den folgenden drei bis vier Bohrgängen beträgt der Druck nicht einmal mehr die Hälfte. Der Druck im Markraum ist nicht am höchsten, wenn ein hoher Anpreßdruck am Bohrgerät aufgewandt wird, sondern wenn der Bohrer rasch nach distal bewegt wird (Abb. 25).

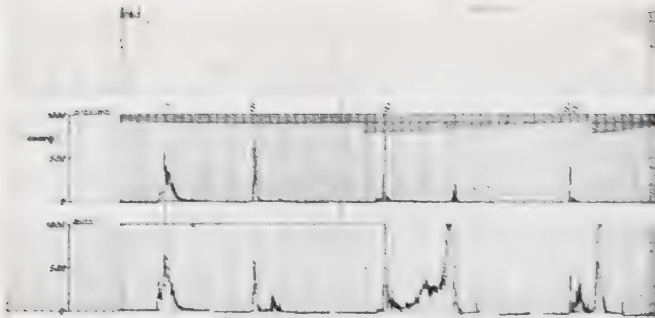


Abb. 21: Hund 7 Tibia ohne Entlastungsloch; Meßbereich 0-1000 mm Hg Papiervorschub: 2,5 mm/s; Bohrer: 7, 8, 9, 9,5 mm. Die ersten vier Bohrvorgänge erzeugen relativ hohe Drücke im Markraum.

[Bohrer]	7	8	9	9,5
proximal [mm Hg]	570	760	1000	390
distal [mm Hg]	780	620	1000	1000

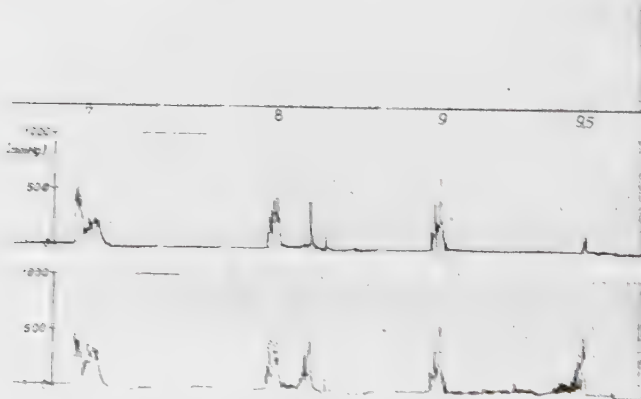


Abb. 22: Hund 7 Tibia mit Entlastungsloch; Meßbereich 0-1000 mm Hg Papiervorschub: 2,5 mm/s; Bohrer

7, 8, 9, 9,5 mm; die in dieser Abbildung gezeigten Druckkurven korrespondieren zu denen aus Abb. 21. Werte:

[Bohrer]	7	8	9	9,5
[mm Hg]	590	440	740	140
proximal				
distal	540	570	690	490
[mm Hg]				

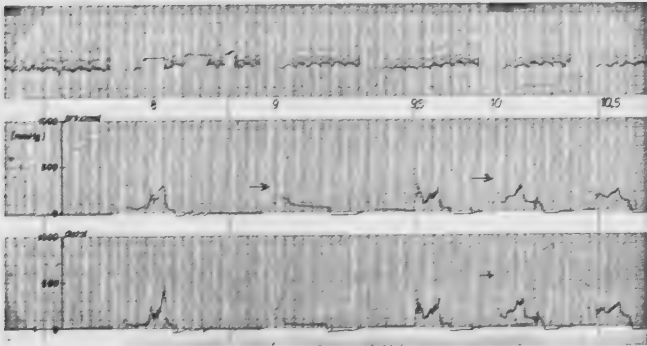


Abb. 23: Hund 3 Femur ohne Entlastungsloch; Meßbereich 0-1000 mm Hg Papiervorschub 2,5 mm/s; Bohrer 8, 9, 9,5, 10, 10,5 mm, Werte:

[Bohrer]	8	9	9,5	10	10,5
proximal	300	280	470	360	270
[mm Hg]					
distal	470	440	600	560	255
[mm Hg]					

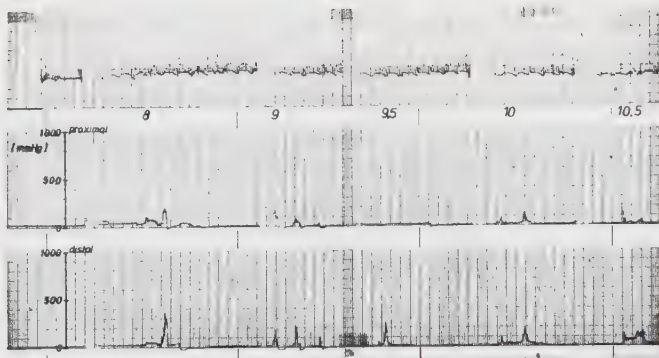


Abb. 24: Hund 3 Femur mit Entlastungsloch; Meßbereich: 0-1000 mm Hg Papiervorschub: 2,5 mm/s; Bohrer 8, 9, 9,5, 10, 10,5 mm. In dieser Abbildung sind die korrespondierenden Druckkurven zu Abb. 23 gezeigt. Der Bohrer 9,5 mm entfällt am proximalen Meßpunkt. Die Meßleitung war aus ihrem Kanal in der Corticalis gedrückt worden. Werte:

[Bohrer]	8	9	9,5	10	10,5
[mm Hg] proximal	200	180	entfällt	140	170
distal [mm Hg]	360	220	250	190	160

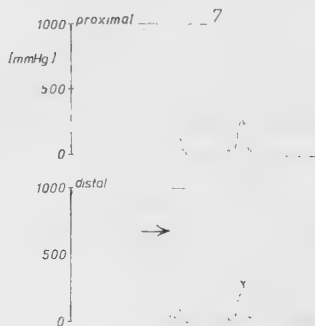


Abb. 25: Vorversuch: Tibia ohne Entlastungsloch: Bohrer

7 mm; Meßbereich 0-1000 mm Hg; Papiervorschub 2,5 mm/s; der Markraumborher wird ohne Rotation durch einen etwas zu engen Zugang eingeklopft. Dieses rüde Vorgehen spiegelt sich in einer kurzen Druckspitze von proximal 180 mm Hg und distal 680 mm Hg wieder. Die Drucke beim nachfolgenden Bohrgang mit dem Bohrer 7 mm betragen proximal 360 mm Hg und distal 460 mm Hg.

Über die Mittelwerte der Drucke bei den einzelnen Bohrgängen und die Druckreduktion durch das Entlastungsloch an den jeweiligen Meßpunkten geben die Tabellen 3 bis 6 und die Abbildungen 26 bis 29 Auskunft.

07-17-1985

Tibia proximal

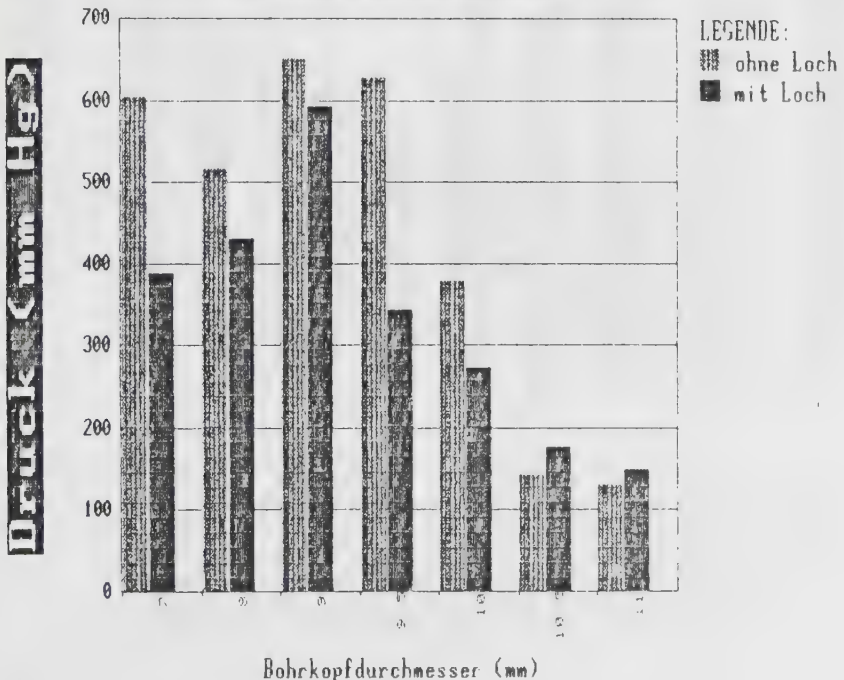


Abb. 26: Die Mittelwerte des Druckes bei den einzelnen Bohrern (7-11 mm) am proximalen Meßpunkt in der Tibia als Säulendiagramm. Man kann gut erkennen,

daß bei den ersten vier Bohrgängen relativ hohe Drucke erzeugt werden; die erste Säule entspricht dem Mittelwert der Drucke in der Tibia ohne Entlastungsloch, die zweite Säule daneben den Mittelwerten der Drucke in der Tibia mit Entlastungsloch.

07-17-1985

Tibia distal

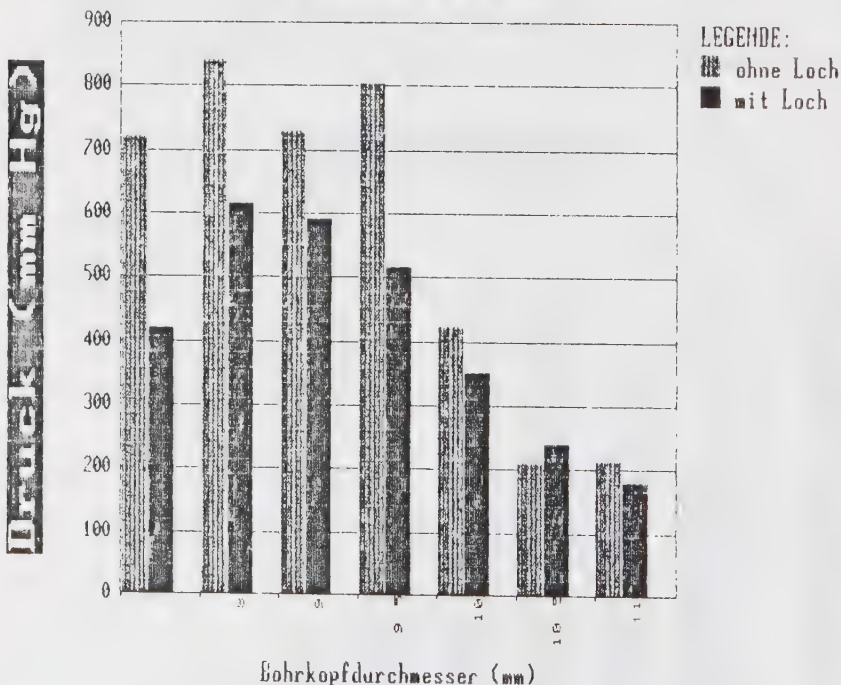


Abb. 27: Die Mittelwerte der Drucke bei den einzelnen Bohrern am distalen Meßpunkt in der Tibia als Säulendiagramm. Die jeweils erste Säule entspricht dem Mittelwert ohne Entlastungsloch, die zweite dem Mittelwert mit Entlastungsloch. Auch hier treten bei den ersten 4 Bohrern relativ hohe Drucke auf.

07-17-1985

Femur proximal

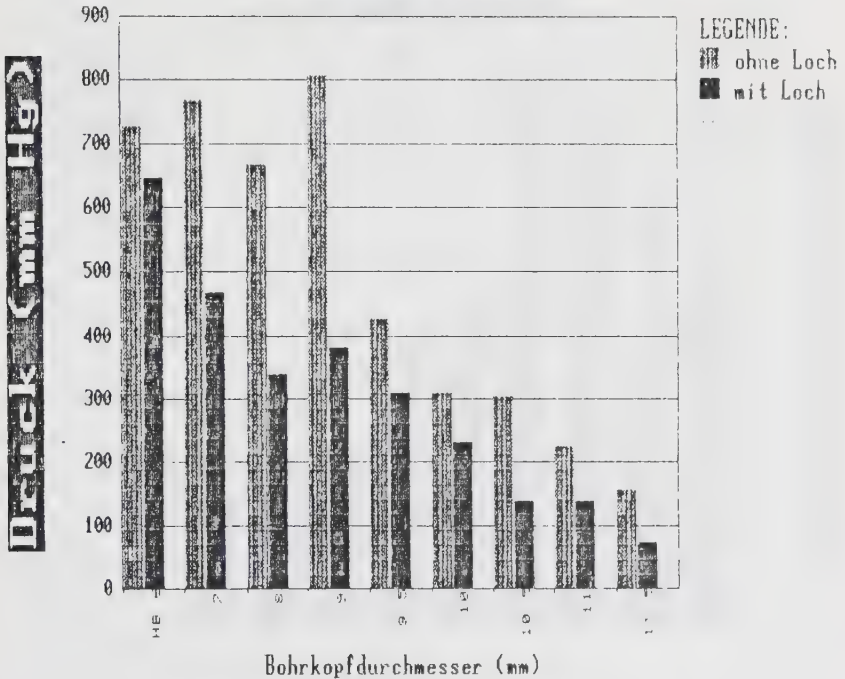


Abb. 28: Die Mittelwerte der Drucke bei den einzelnen Bohrern am proximalen Meßpunkt im Femur als Säulendiagramm. Zusätzlich wurde noch der Handbohrer mit 6 mm Durchmesser (HB 6) mit aufgenommen. Die erste Säule entspricht dem Mittelwert ohne Entlastungsloch, die zweite dem mit Entlastungsloch. Hier sind nur bei den ersten drei Bohrern und dem Handbohrer höhere Drucke zu bemerken.

07-17-1985

Femur distal

Druck (mm Hg)

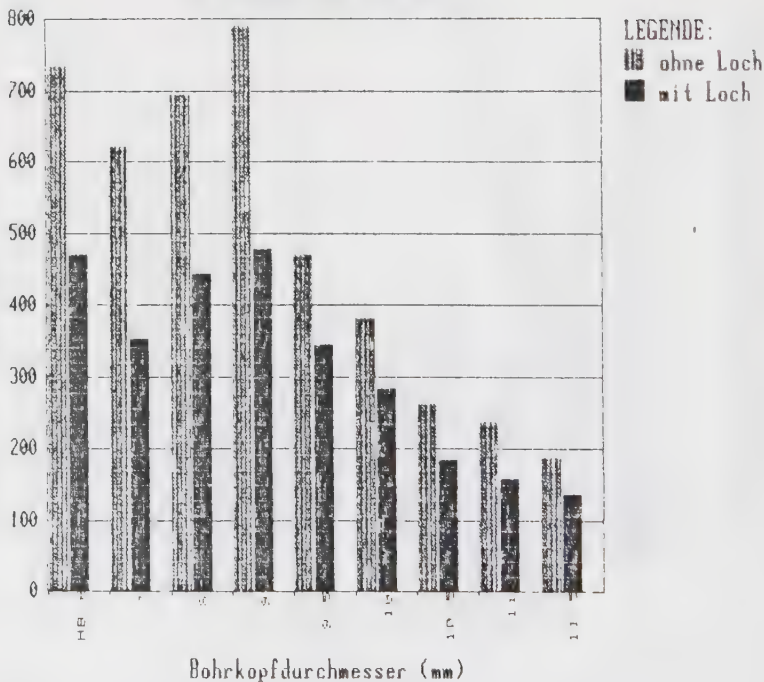


Abb. 29: Die Mittelwerte der Drucke bei den einzelnen Bohrern am distalen Meßpunkt im Femur als Säulendiagramm. Die jeweils erste Säule entspricht dem Mittelwert ohne Entlastungsloch, die zweite dem Mittelwert mit Entlastungsloch. Beim Handbohrer und den ersten drei Bohrern entstehen relativ hohe Druckspitzen.

Tabelle 3: Mittelwerte der Drucke bei den Bohrern 7 mm - 11 mm in der Tibia am proximalen Meßpunkt und Druckreduktion durch das Entlastungsloch

Bohrer [mm]	7	8	9	9,5	10	10,5	11
ohne Entlastungsloch [mm Hg]	604	516	652	628	378	143	130
mit Entlastungsloch [mm Hg]	388	430	593	342	274	177	150
Druckreduktion [%]	35,8	16,7	9,1	45,5	27,5	-23,8	-15,4
Druckreduktion [mm Hg]	216	86	59	286	104	-34	-20

Der Meßbereich (0-1000 mm Hg) wurde ohne Entlastungsloch 5 mal, mit Entlastungsloch keinmal überschritten.

Tabelle 4: Mittelwerte der Drucke bei den Bohrern 7 bis 11 mm in der Tibia am distalen Meßpunkt und Druckreduktion durch das Entlastungsloch.

Bohrer [mm]	7	8	9	9,5	10	10,5	11
ohne Entlastungsloch [mm Hg]	720	840	730	803	422	210	214
mit Entlastungsloch [mm Hg]	421	614	592	516	352	240	180
Druckreduktion [%]	41,5	27	19	35,7	16,6	-14,3	15,9
Druckreduktion [mm Hg]	299	226	138	287	70	-30	23

Der Meßbereich (0-1000 mm Hg) wurde ohne Entlastungsloch 4 mal, mit Entlastungsloch keinmal überschritten.

Tabelle 5: Mittelwerte der Drucke bei den Bohrern 7 bis 11,5 mm im Femur am proximalen Meßpunkt und Druckreduktion durch das Entlastungsloch.

Bohrer [mm]	7	8	9	9,5	10	10,5	11	11,5
ohne Entlastungsloch [mm Hg]	768	666	807	426	308	304	224	156
mit Entlastungsloch [mm Hg]	468	339	380	310	230	138	128	73
Druckreduktion [%]	19,1	49,1	52,9	27,2	25,3	55,2	38,4	53,5
Druckreduktion [mm Hg]	300	32,7	42,7	116	78	166	96	83

Der Meßbereich wurde ohne Entlastungsloch 4mal, mit Entlastungsloch keinmal überschritten.

Tabelle 6: Mittelwerte der Drucke bei den Bohrern 7 mm bis 11,5 mm im Femur am distalen Meßpunkt und Druckreduktion durch das Entlastungsloch.

Bohrer [mm]	7	8	9	9,5	10	10,5	11	11,5
ohne Entlastungsloch [mm Hg]	620	693	789	468	380	261	238	187
mit Entlastungsloch [mm Hg]	352	433	476	343	282	183	158	137
Druckreduktion [%]	43,2	36,1	39,7	26,7	25,8	29,9	33,6	26,7
Druckreduktion [mm Hg]	268	260	313	125	98	78	80	50

Der Meßbereich (0-1000) wurde ohne Entlastungsloch 4 mal mit Entlastungsloch keinmal überschritten.

Die einzelnen Werte zur Errechnung der Mittelwerte, die Werte, welche den Meßbereich von 1000 mm Hg überschreiten und die Anzahl der in die Auswertung pro Bohrer eingehenden Werte sind den Tabellen 16 bis 23 im Anhang zu entnehmen. Ebenfalls im Anhang sind die Mittelwerte dem entsprechenden Median tabellarisch zugeordnet und Angaben zur statistischen Signifikanzprüfung nach dem Wilcoxon-Paardifferenzen-Test gemacht (Tabelle 24 - 27).

Die Säulendiagramme geben nur einen semiquantitativen Überblick über das Verhalten der Drucke. Wesentlich umfassender informiert eine Darstellung der ermittelten Werte in Form von Box-plots. Der Median ist dabei durch ein (+) gekennzeichnet, die "Box" umfaßt 50 % aller gemessenen Werte und die Linien nach oben und unten geben den Bereich an, in welchem alle gemessenen Werte liegen. In Abbildung 30 bis 33 sind die Werte an den vier Meßpunkten in Form dieser Box-plots dargestellt. In jedem Pärchen sind die Werte ohne Entlastungsloch als erste dargestellt, daneben die Werte mit Entlastungsloch.

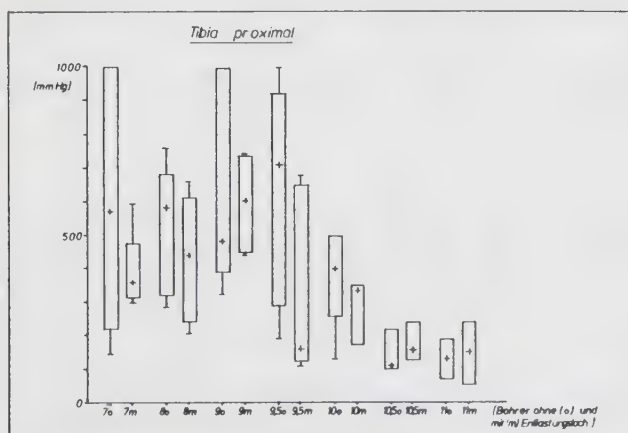


Abb. 30: Sämtliche Meßwerte für die Drucke bei den einzelnen Bohrern (7 mm bis 11 mm) ohne (o) und mit (m) Entlastungsloch in der Tibia am proximalen Meßpunkt.

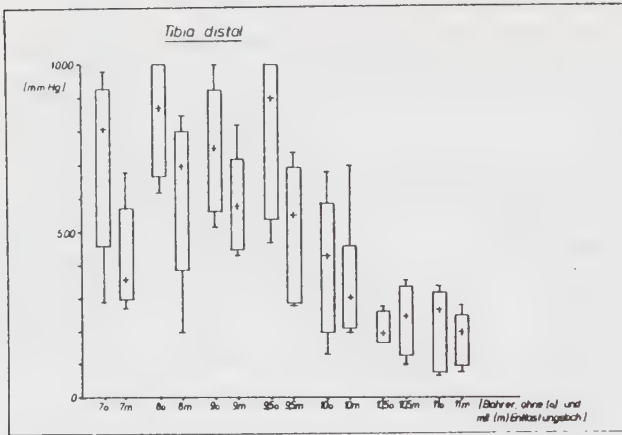


Abb. 31: Sämtliche Werte für die Drücke bei den einzelnen Bohrern (7 mm bis 11 mm) ohne (o) und mit (m) Entlastungsloch in der Tibia am distalen Meßpunkt

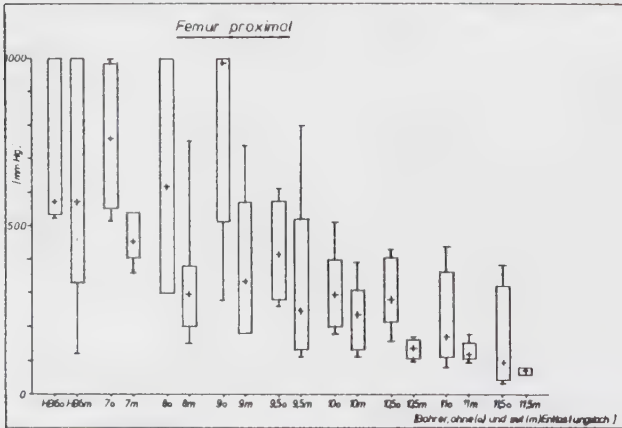


Abb. 32: Sämtliche Meßwerte für die Drücke bei den einzelnen Bohrern (Handbohrer 6 mm, Bohrer 7 mm bis 11,5 mm) ohne (o) und mit (m) Entlastungsloch im Femur am proximalen Meßpunkt

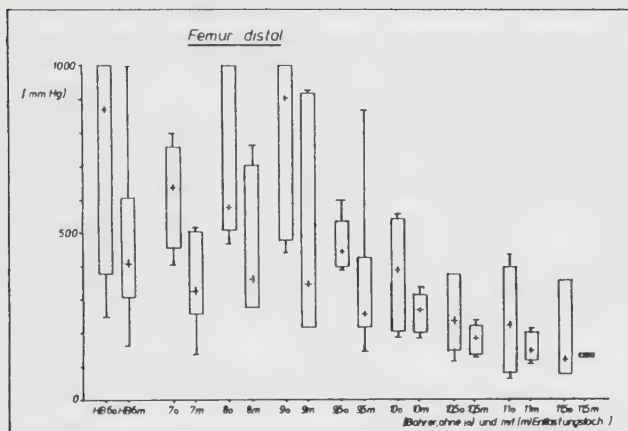


Abb. 33: Sämtliche Meßwerte der Drucke bei den einzelnen Bohrern (Handbohrer 6mm, Bohrer 7 mm bis 11,5 mm) ohne (o) und mit (m) Entlastungsloch im Femur am distalen Meßpunkt

Um die Auflistung der Ergebnisse der Druckmessungen abzuschliessen, sei noch ein Überblick über den Vergleich mit und ohne Entlastungsloch gegeben, ohne die Daten nach den einzelnen Bohrern aufzuschlüsseln. Der Meßbereich von 1000 mm Hg wurde ohne Entlastungsloch insgesamt 17 mal überschritten, mit Entlastungsloch kein Mal. Die Prüfung auf Signifikanz ergab an allen vier Meßpunkten eine Reduktion des Druckes auf einem Signifikanzniveau von $p = 0,01$ [29] bei einer Anzahl der Wertepaare von 30 bis 50. Mittelwerte und Mediane sind der Tabelle 7 zu entnehmen.

Tabelle 7: Mittelwerte und Mediane sämtlicher gemessener Daten an den vier Meßpunkten

		Tibia proximal	Tibia distal	Femur proximal	Femur distal
ohne Entlastungsloch	Mittelwert	486	576	504	519
	Median	425	560	435	480
mit Entlastungsloch	Mittelwert	366	427	308	334
	Median	340	370	220	280
Zahl der Wertpaare		30	38	48	50
Signifikanz		ja	ja	ja	ja
Druckreduktion (aus dem arithm. Mittelwert)		24,7 %	25,9 %	38,9 %	35,7 %

Die graphische Darstellung in Form von Box-plots gibt Abbildung 34 wieder.

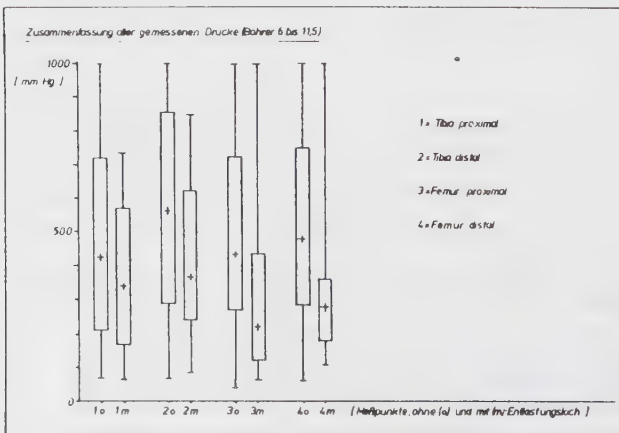


Abb. 34: Sämtliche gemessenen Werte für die Drücke an den vier Lokalisationen (Tibia proximal, Tibia distal, Femur proximal und Femur distal) mit (m)

und ohne (o) Entlastungsloch. Bei Femur proximal und distal sind auch die Meßwerte des Handbohrers berücksichtigt, deshalb geht der Bereich der gemessenen Werte mit Entlastungsloch bis 1000 mm Hg. Würde man den Handbohrer nicht berücksichtigen, wären proximal 800 mm Hg und distal 930 mm Hg als höchste Werte mit Entlastungsloch zu sehen.

2.3.8. Bestimmung der Blutfette

Der Hämatokrit nahm während des Versuchs im Durchschnitt auf 86,8 %, die Hämoglobinkonzentration auf 83,2 % des Ausgangswertes ab. Proportional dazu nahm auch die Konzentration an Cholesterin ab, sowohl peripher wie auch zentral. Am Ende des Versuchs lagen die Werte sogar etwa 10 % niedriger als der Blutverdünnung entsprechen würde. Gleiches trifft für die Werte der Triglyceride im zentral entnommenen Blut zu. Die Triglyceride im peripheren Venenblut nahmen nur um 12 % ab, was einer relativen Zunahme von 3 % entspricht.

2.3.9. Zusammenfassung der Ergebnisse aus den intraoperativen Messungen

Während der Aufbohrung ist ein Austritt von Markrauminhalt aus dem Entlastungsloch zu bemerken. Der Ausgangsdruck im Markraum schwankt pulssynchron und liegt in der Tibia proximal bei 52/40 mm Hg, distal bei 51/40 mm Hg, im Femur proximal bei 36/31 mm Hg und distal bei 35/32 mm Hg. Nach Bohrung des Entlastungsloches sinkt der Ausgangsdruck. Auch nach Eröffnung der intakten Markhöhle (ohne Entlastungsloch) mit dem Pfriem sinkt der Druck im Markraum. Bei der Arbeit mit dem Pfriem entstehen kurze Druckspitzen bis zu 220 mm Hg (Femur proximal). Im Mittel liegen die Druckspitzen proximal in der Tibia und im Femur bei 84 mm Hg und 79 mm Hg, distal in Tibia und Femur, etwas niedriger, bei 66 mm Hg und 67 mm Hg. Der Bohrdorn als erstes Arbeitsgerät im Markraum erzeugt, abhängig von der Geschwindigkeit

des Einführens, Druckspitzen bis über 1000 mm Hg (Tibia). In einem präformierten Kanal (Femur) vermag er keine höheren Drucke als 280 mm Hg, im Mittel proximal 110 mm Hg, distal 151 mm Hg zu erzeugen.

Beim Handbohrer mit 6 mm Durchmesser wurde der Meßbereich proximal gleich häufig, distal doppelt so oft ohne Entlastungsloch überschritten (siehe Tabelle 13 im Anhang). Proximal ergeben sich 11,1 %, distal 35,9 % Druckreduktion durch das Entlastungsloch. Bei den Markraumbóhrern mit 7 mm, 8 mm, 9 mm und 9,5 mm Durchmesser ergeben sich in der Tibia Spitzendrucke zwischen 516 mm Hg und 840 mm Hg ohne Entlastungsloch, mit Entlastungsloch betragen die gemittelten Drucke zwischen 342 und 614 mm Hg, was einer Druckreduktion zwischen 9,1 % und 45,5 %, im Mittel 28,8 % entspricht. Sie ist distal deutlicher ausgeprägt als proximal. In der Markhöhle des Femur ergeben sich bei den Bohrern von 7 mm bis 9,5 mm Durchmesser ohne Entlastungsloch 426 mm Hg bis 789 mm Hg, mit Entlastungsloch 310 mm Hg bis 476 mm Hg. Die Druckreduktion beträgt zwischen 26,7 % und 52,9 %, im Mittel 39,3 %.

Bei den größeren Markraumbóhrern mit 10 mm, 10,5 mm, 11 mm und 11,5 mm Durchmesser zeigen sich in Tibia und Femur wesentlich niedrigere Drucke als bei den ersten vier Bohrdurchmessern. In der Tibia betragen die gemittelten Druckspitzen zwischen 130 mm Hg und 422 mm Hg ohne Entlastungsloch und zwischen 150 mm Hg und 352 mm Hg mit Entlastungsloch. Die Druckreduktion ist fraglich, besonders proximal. Am Femur erhält man bei diesen Bohrern ohne Entlastungsloch gemittelte Spitzendrucke zwischen 156 mm Hg und 360 mm Hg mit Entlastungsloch zwischen 73 mm Hg und 282 mm Hg. Die entsprechende Druckreduktion beträgt zwischen 25,3 % und 55,2 %, im Mittel 36 %.

Bei den Blutfetten fällt ein relativer Anstieg der Triglyceride um 3 % im Blut der V. femoralis communis auf (Tabellen 29 bis 32 im Anhang). Compartmentdruck im Tibialis-anterior-Compartment und subperiostale Temperatur bleiben konstant.

3. Untersuchung der Vascularisation

3.1. Material

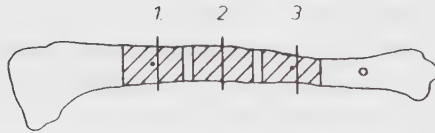
3.1.1. Vorbereitungen

Nach Abschluß der Aufbohrungen und Vollheparinisierung des Hundes wurden die Arteria und Vena femoralis communis dargestellt und nach proximal ligiert. In die A. femoralis communis wurde unter physiologischem Druck von etwa 125 mm Hg [7,33] zuerst 500 ml 3 %ige Tuschelösung (15 ml Tusche AN1 16/1, Fa. Degussa, in 485 ml Ringerlösung) über einen großlumigen Katheter infundiert. Aus der Vena femoralis communis kam nach Minuten nur noch Tuschelösung. Darauf wurden 500 ml 30 %ige Micropaque-Lösung (150 ml Micropaque-Suspension in 350 ml Ringerlösung) luftblasenfrei infundiert. In gleicher Weise wurde an der anderen Extremität vorgegangen. Nach Beendigung der Infusion wurde der Hund mit einer Überdosis Barbiturat euthanasiert. Die Arteria und Vena femoralis wurden nach distal ligiert und die Extremitäten unter Unterbindung größerer Gefäße im Hüftgelenk exartikuliert. Die gesamte Extremität wurde in 10 %iger Formalinlösung fixiert. Nach drei Tagen wurden Femora und Tibiae von den Weichteilen befreit und erneut in 10 %igem Formaldehyd fixiert.

3.1.2. Schnittebenen

Die Vascularisation der behandelten Knochen wurde in drei Ebenen anhand von Querschnitten untersucht: (Abb. 35)

Schnittebenen



1Schnittebene proximaler Druckmeßpunkt

2Schnittebene Längenmittelpunkt

3Schnittebene distaler Druckmeßpunkt

Abb. 35: Lage der Schnittebenen der Knochenquerschnitte an der Tibia. Den mit der Bandsäge ausgesägten Segmenten (schraffiert) wurden mit der Leitz-Innenlochsäge Dünnschnitte an den drei angezeichneten Schnittebenen entnommen.

Den fixierten Knochen wurden an der Bandsäge drei 2 cm lange Knochensegmente, jeweils 1 cm proximal und distal der Schnittebene messend, entnommen. Diese drei Knochensegmente wurden nach Entzug des Formaldehyds mittels Wässerung in aufsteigender Alkoholreihe entwässert und in Methylmethacrylat eingebettet [33]. Aus den Methylmethacrylatblöcken wurden mit dem Leitz-Innenloch-Sägemikrotom Knochenquerschnitte entnommen.

3.2. Methodik

3.2.1. Histologische Verfahren

Modifizierte Spalteholz-Technik [4,5,10,25,33,36,37]:

Dünnschnitte von 330 μm Dicke wurden in 10 %iger Salpetersäure entkalkt (etwa 1,5 Stunden), in aufsteigender Alkoholreihe von 70 %, 90 %, 96 % und zweimal 100 % Alkohol jeweils eine Stunde entwässert. Daraufhin wurden sie kurz in Xylol getaucht und auf einem Objektträger mit Canadabalsam (Fa. Merck) eingedeckt. Canadabalsam hat in etwa den gleichen Brechungsindex wie entkalkter Knochen dieser Dicke (Canadabalsam: n_D bei 20 Grad C = 1,535; Knochen: $n_D=1,547$ [25,33]). So erscheint der Knochen durchsichtig und man kann tuschegefüllte Gefäße unter dem Mikroskop verfolgen.

Makroskopisches Röntgen: Vor Bearbeitung der fixierten Knochen mit der Bandsäge wurden diese geröntgt. Der Abstand von der Röntgenröhre zum Film betrug 90 cm; als Film wurde Kodak Définix medicale verwandt. Bei einer Spannung von 65 kV wurde mit einer Leistung von 100 mAs geröntgt.

Microradiographie: Dünnschnitte von 150 μm Dicke wurden an den Schnittebenen stichprobenweise entnommen und in unentkalktem Zustand im Faxitron bei 42 kV 20 Minuten lang geröntgt. Als Film dienten Kodak HRP-Platten.

Färbung mit Fuchsin [7,8,27,31,32,38]: Stichprobenweise wurde an den Schnittebenen Dünnschliffe von 30 μm Dicke angefertigt und nach Romeis §1686 [27] mit Fuchsin gefärbt.

Fettfärbung mit Scharlachrot (modifiziert nach Romeis §1043) [4,27,38]: An den Schnittebenen wurden 2 mm dicke Querschnitte entnommen und in 10 %iger Salpetersäure entkalkt. Von diesen wurden Gefrierschnitte von 5 μm Dicke abgeschnitten und mit Scharlachrot gefärbt.

3.2.2. Auswertung

Die quantitative Auswertung der 330 μm dicken Schnitte in modifizierter Spalteholztechnik erfolgte durch das Mikroskop und einen Hipad-Digitizer in Verbindung mit einem Olivetti Personal Computer [9]. Über ein speziell entwickeltes Programm zur Integration unregelmäßiger Flächen [18] wurde die gesamte Fläche der Corticalis und die noch vascularisierte Fläche der Corticalis berechnet. Dazu wurde das Präparat mit einem Diaprojektor auf den Hipad-Digitizer projiziert und abgepaust. Gleichzeitig wurden mittels des Hipad-Digitizers die Koordinaten der periostalen und der endostalen Begrenzung der Corticalis in Dateien auf dem Olivetti Personal-Computer abgespeichert und über das Programm die Flächen innerhalb der Linien berechnet. Das Präparat wurde mikroskopiert und in die angefertigte Zeichnung wurden die am weitesten markraumwärts reichenden Gefäße vom Mikroskop übertragen. Diese Gefäße wurden auf der kürzest möglichen Strecke miteinander verbunden, so daß eine Grenzlinie zwischen vascularisierter, d.h. tuschegefüllter, und nicht vascularisierter (nicht tuschegefüllter) Corticalis entstand. Die Fläche innerhalb dieser Grenzlinie wurde auf dem Hipad-Digitizer eingegeben und berechnet. Es wurden also pro Präparat drei Flächen berechnet (Abb.36).

1. Die Fläche (F1) innerhalb der periostalen Begrenzung der Corticalis = Gesamtfläche des Präparates inclusive Markraumfläche
2. Die Fläche (F2) innerhalb der endostalen Begrenzung der Corticalis = Markraumfläche
3. Fläche (F3) innerhalb der Grenzlinie zwischen vascularisierter und nicht vascularisierter Corticalis.

Berechnung des Anteils der vascularisierten Corticalis (Index)

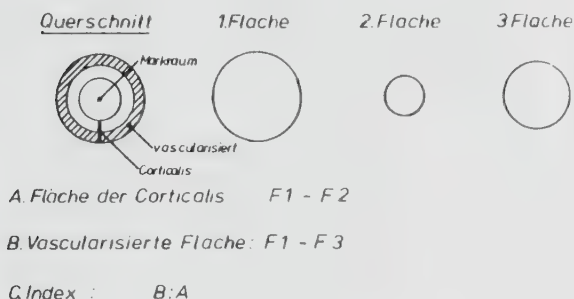


Abb. 36: Schema zur Berechnung des Anteils der vascularisierten Corticalis. Die Flächen $F1$ und $F2$ wurden gemessen und daraus die Gesamtfläche der Corticalis ($F1-F2$) errechnet. Nach Ausmessen der Fläche $F3$ wurde die Fläche der vascularisierten Corticalis ($F1-F3$) errechnet. Aus diesen Flächen wurde ein Index $[(F1-F3):(F1-F2)]$ gebildet, der den vascularisierten Anteil an der Gesamtcorticalis wiedergibt.

Zur Berechnung des Anteils der vascularisierten Corticalis an der gesamten Fläche der Corticalis wurde ein Index aus den Flächen gebildet. $[(F1-F3):(F1-F2)]$

Bei jedem Präparat wurde die Eichung des Maßstabes vom Diaprojektor auf den Hipad-Digitizer überprüft, wobei 1 cm in Natur 11,51 cm auf dem Digitizer entsprach.

Fuchsinfärbung, Mikroradiographie und Fettfärbung wurden nur stichprobenweise durchgeführt und nur qualitativ betrachtet.

3.3. Ergebnisse

Die Fuchsinfärbung ergab, sowohl in Schnitten mit als auch ohne Entlastungsloch, daß die Knochengrundsubstanz im gesamten Corticalisquerschnitt vital war [7,32]. Anderes war kaum zu erwarten, da die Tiere unmittelbar postoperativ euthanasiert wurden. Jedoch konnte somit die präoperative Vitalität der Knochen nachgewiesen werden.

Die Mikroradiographie zeigte im Seitenvergleich mit und ohne Entlastungsloch keine Unterschiede. Nachzuweisen war eine intakte Grundstruktur des Knochens und am Rande der Corticalis im Markraum gelegenes Bohrmehl und Knochenspäne als Zeichen der stattgefundenen Aufbohrung.

Die Fettfärbung mit Scharlachrot zeigte Fett in den Knochenkanälchen. Die genaue Festlegung der Grenzen und somit quantitative Auswertung war nicht möglich.

Im makroskopischen Röntgen waren im direkten Seitenvergleich mit und ohne Entlastungsloch bisweilen Unterschiede zu erkennen. In Tibiae und Femora mit Entlastungsloch schien eine bessere Füllung mit Micropaque, erkenntlich an einem durchgängigen Vas nutritium, erkennbar zu sein (Abb.37,38)



Abb. 37: Röntgenaufnahme a.p. und seitlich von einer Tibia mit Entlastungsloch (a) und ohne Entlastungsloch (b); durch ein noch durchgängiges Vas nutritium bei (a) fließt Kontrastmittel in die ausgebohrte Markhöhle, während bei (b) das Vas nutritium verlegt erscheint.



Abb. 38: Femur a.p. und seitlich mit (a) und ohne (b) Entlastungsloch; die Vasa nutritia sind auf der Seite mit (a) Entlastungsloch durchgängig, ohne Entlastungsloch (b) anscheinend zugesetzt mit Markrauminhalt.

Modifizierte Spalteholztechnik:

Es wurden die Mittelwerte der Indices des Anteils der vascularisierten Corticalis an der Gesamtfläche der Corticalis an jeder Schnittebene in Femur und Tibia errechnet. Die Flächen wurden dabei nicht weiter unterteilt (etwa in Quadranten o.ä.). Aus den abgezeichneten Linien ergab sich folgendes Bild (Abb. 39, 40)

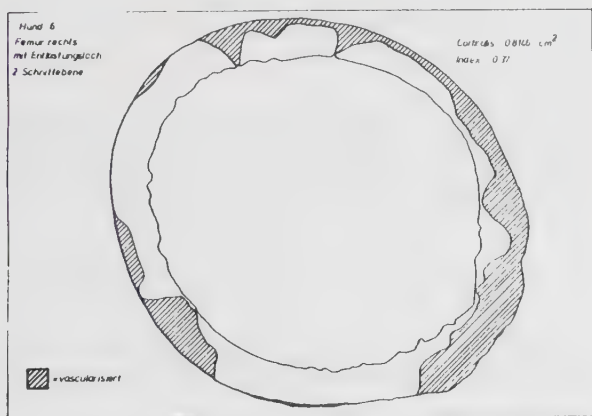


Abb. 39: Hund 6 Femur mit Entlastungsloch, 2. Schnittebene. Fläche der Corticalis 0,8146 cm²; Anteil der vascularisierten Corticalis an der Gesamtfläche: 0,37 (Index). Das auf den Hipad-Digitizer projizierte Präparat wurde abgezeichnet. Die unter dem Mikroskop ermittelte Grenzlinie zwischen vascularisierter und nicht vascularisierter Corticalis wurde in die Zeichnung übertragen. Der vascularisierte Anteil der Corticalis ist schraffiert dargestellt.

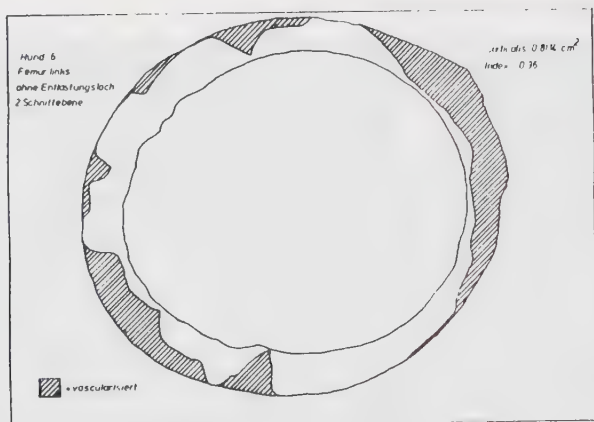


Abb. 40: Hund 6 Femur ohne Entlastungsloch, 2. Schnittebene
Fläche der Corticalis: 0,8114 cm²; Anteil der
vascularisierten Corticalis an der Gesamtfläche:
0,36 (Index). Die Abbildung stellt die korres-
pondierende Schnittebene zu Abb. 39 dar.

Die Mittelwerte der Indices sind in Tabelle 8 wiedergegeben.

Tab. 8: Mittelwerte der Indices von vascularisierter
Corticalis zur Gesamtfläche der Corticalis in
Tibia und Femur mit und ohne Entlastungsloch.

	Tibia		Femur	
	mit Entl.- loch	ohne Entl.- loch	mit Entl.- loch	ohne Entl.- loch
1. Schnittebene	0,52±0,16	0,52±0,15	0,44±0,14	0,48±0,12
2. Schnittebene	0,58±0,16	0,54±0,14	0,42±0,14	0,40±0,06
3. Schnittebene	0,54±0,19	0,54±0,13	0,73±0,13	0,76±0,13

Die Flächen der gesamten Corticalis und der vascularisierten Corticalis sowie die Indices der einzelnen Schnittebenen sind den Tabellen 33 bis 38 im Anhang zu entnehmen.

Die graphische Darstellung der Flächen zeigt, daß im Seitenvergleich nicht nur die Indices weitgehend identisch sind, sondern daß sich die Flächen der gesamten und der vascularisierten Corticalis weitgehend entsprechen.

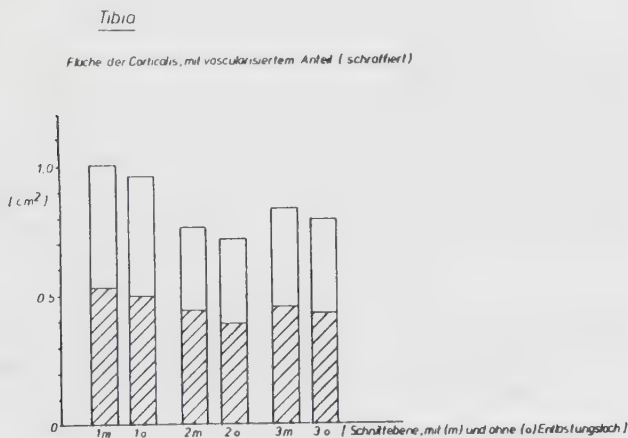


Abb. 41: Graphische Darstellung der Mittelwerte der gesamten und der vascularisierten Fläche (schraffiert) der Corticalis an den drei Schnittebenen der Tibia, mit (m) und ohne (o) Entlastungsloch.

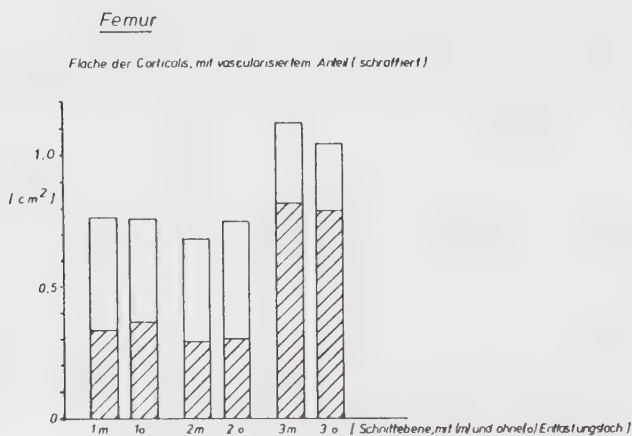


Abb. 42: Graphische Darstellung der Mittelwerte der gesamten und der vascularisierten Fläche (schraffiert) der Corticalis an den drei Schnittebenen im Femur mit (m) und ohne (o) Entlastungsloch.

4. Diskussion

4.1. Operatives Vorgehen

Neben Gründen der praktischen Durchführbarkeit ließ auch die histologische Ähnlichkeit [7,24] zwischen Tibia und Femur des Menschen und des Hundes einen großen Hund wie den Schäferhund als Versuchstier geeignet erscheinen. Nach den von Stürmer und Schuchardt aufgestellten Kriterien [38] zur Vergleichbarkeit, wurde die Einhaltung der Operationstechnik und die Verwendung handelsüblichen Instrumentariums berücksichtigt. Da in dieser Arbeit nicht der Regenerationsprozeß des Knochens über einen längeren Zeitraum beobachtet wird, sondern der Hund unmittelbar postoperativ euthanasiert wird, kann die funktionelle Belastbarkeit des Knochens im Organismus [38] und die bessere Regenerationspotenz [7,24] des Hundes vernachlässigt werden. Femur und Tibia der Versuchstiere sind kürzer (Tabelle 9 im Anhang) und von geringerer Stärke als die entsprechenden Knochen des Menschen. Um dies auszugleichen wurde die Aufbohrung mit einem Markraumborher von nur 7 mm Durchmesser begonnen und bis zu Bohrern von 11,5 mm Durchmesser gesteigert. Beim Menschen werden in der Regel größere Durchmesser verwandt [6,17,19].

Obwohl die Knochen einen geringsten sagittalen Durchmesser von 17 mm aufwiesen und nur bis maximal 11,5 mm aufgebohrt wurde, war die Corticalis manchmal schon vor dem letzten Bohrer gebrochen und weitere Aufbohrungen mußten entfallen. Dies ist auf den exzentrischen Verlauf des Bohrkanals zurückzuführen und zeigt, daß eher zu weit als zu wenig aufgebohrt wurde [8,38]. Im direkten Seitenvergleich der einen Tibia und des einen Femur eines Hundes mit Entlastungsloch mit dem Knochen der anderen Seite ohne Entlastungsloch, können gleiche Ausgangsverhältnisse unterstellt werden. Die Druckentlastung wurde in vorliegender Arbeit mittels

eines 3,2 mm Bohrlochs am distalen Sechstelpunkt (in der Mitte zwischen distalem Meßpunkt und distalem Ende des Knochens) medial an der Tibia, lateral am Femur vorgenommen. In ähnlicher Weise hatte Senff [34,35] die Druckentlastung zur Verhütung der Fettembolie durchgeführt. Danckwardt-Lillieström führte durch das distale Bohrloch einen Katheter ein, entfernte das Mark durch Absaugen und bohrte um nur 0,5 mm unter kontinuierlichem Sog auf [5,6]. Stürmer und Schuchardt [38] weisen im zweiten Teil ihrer Arbeit unter Berufung auf die Spaltformel aus der angewandten Hydraulik auf eine Verminderung der Viscosität des Markes hin. Der Druck soll dadurch reduziert werden, daß die Viskosität des Markrauminhalts durch Spülungen vermindert wird und dieser besser am Bohrkopf vorbei nach proximal in die Markhöhle und am Frakturspalt entweichen kann. Das seitlich angebrachte distale Bohrloch scheint die einfachste Lösung zu sein. Zudem ließe sich diese Methode der Druckentlastung im Rahmen einer Verriegelungsnagelung als ohnehin nötiger Eingriff für das Einbringen der Verriegelungsbolzen in die operative Verfahrensweise eingliedern. Das Absaugen des Markes oder dessen Viscositätsminderung durch Spülungen bergen zudem eine höhere Infektionsgefahr in sich.

4.2. Intraoperative Messungen

4.2.1. Methodik der Druckmessung

In Vorversuchen wurde der beste Ansatz in der Corticalis für die Druckmessung ermittelt. Es wurden durchbohrte Schrauben, Metallkanülen und das Einsetzen der Druckleitung in ein 2mm-Bohrloch erwogen. Aus folgenden Gründen erschien das Einpassen der Druckleitung in ein 2mm-Bohrloch am besten praktikabel:

- wird bei exzentrischem Verlauf des Bohrkanals oder stärkeren Markraumborern der Meßansatz angebohrt, so ist bei Verwendung von Metallteilen nicht nur der Bohrkopf beschädigt, sondern es fallen unter Umständen alle weiteren Messungen an diesem Knochen aus [38].
- Das Einbringen der metallischen Meßansätze ist ungleich komplizierter und erfordert größere Manipulationen im Markraum bevor der Ausgangsdruck gemessen werden kann.
- Eine Undichtigkeit unseres Meßansatzes konnte nahezu ausgeschlossen werden.

Die geeignete Lokalisation der Meßpunkte wurde ebenfalls in Vorversuchen ermittelt. Dabei sollte an den Meßpunkten der Druck im Markraum ohne Störeinflüsse gemessen werden können, die Verteilung der Meßpunkte sollte einen guten Überblick verschaffen und der Zugang sollte möglichst einfach sein. Dies traf am besten auf die gewählte Anordnung der Meßpunkte an den Längendrittelpunkten des Knochens zu. Bei Druckmessungen im spongiösen Bereich der distalen Metaphyse ergab sich eine Dämpfung der Druckkurve durch die Spongiosa in der metaphysären Markhöhle (Abb. 43).

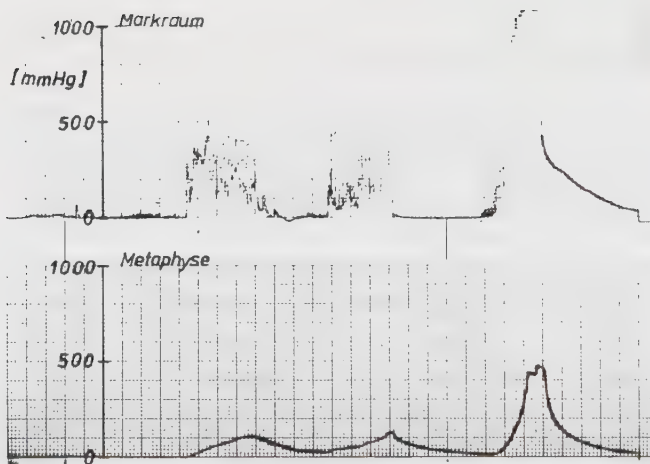


Abb. 43: Druckkurvenverlauf in der Markhöhle (oben) und simultan mitgeschrieben im spongiösen Bereich der distalen Metaphyse. Vorversuch, Meßbereich 0-1000 mm Hg, Papiervorschub 2,5 mm/s.

Um eine luftblasenfreie Verbindung von der Druckleitung zur Markhöhle zu schaffen wurde die Meßleitung unter leichtem Anspülen (schwach tropfend) in den Bohrkanal eingesetzt. Eine gute Verbindung zu schaffen ohne den Druck in der Markhöhle zu beeinflussen, war nicht immer leicht.

4.2.2 Ergebnisse der Druckmessung

In die quantitative Betrachtung der Ergebnisse gingen die Mittelwerte der Druckspitzen ein. Ohne Entlastungsloch wurde der Meßbereich von 1000 mm Hg vielfach überschritten, mit Entlastungsloch war dies bei den Markraumbohrern nie der Fall. Die Mittelwerte ohne Entlastungsbohrloch liegen also tatsächlich höher als angegeben, die Druckreduktion ist größer. Der Verlauf der Druckkurven zeigt, daß nicht

nur die Druckspitzen reduziert werden, sondern auch das Niveau der Drucke dazwischen, besonders im mittleren Bereich der Markhöhle niedriger liegt. Ältere Arbeiten fanden ähnliche Werte für den Ausgangsdruck im Markraum. Die von Schultze und Behan [30] ermittelten negativen Werte wurden schon ein Jahr später von Rothmann [28], der auch das Steigrohr zur Druckmessung verwandte, widerlegt. Er registrierte positive leicht pulsierende Drucke im Markraum. 1944 schreibt Häbler [11] als erster von einer Druckmessung beim Einbringen des Marknagels. Er berichtet, daß sich der Druck um mehr als 20 mm Hg erhöht, wenn der Führungsspieß oder der Nagel in die Markhöhle eingebracht werden. Süsse [39] und Rehm [21, 22] fanden einen pulsierenden Druck von 10 bis 30 mm Hg und 20 bis 30 mm Hg. Rehm beobachtete ferner ein Absinken des Druckes im Markraum langer Röhrenknochen von Mensch und Hund 2 Tage nach Fraktur auf Werte zwischen 5 mm Hg und 9 mm Hg. Beim Einschlagen des Nagels mißt er momentane Druckschwankungen bis 175 mm Hg. Im distalen Fragment geht der Druck nach den Schlägen nicht sofort auf das Ausgangsniveau zurück wie im proximalen Fragment, sondern nimmt nach jedem Schlag zu, um nur langsam wieder abzunehmen. Ähnliche Ergebnisse hatte Küntscher [16, 17] schon vorher erhalten, ohne jedoch die genaue Höhe des Druckes bestimmen zu können. Rehm geht in seiner Arbeit nicht genauer auf die angewandte Methodik ein, doch zeigen seine Meßkurven, daß der Meßbereich nicht ausreichend groß war und daß sein Schreiber so träge war, daß das Pulsieren des Ausgangsdruckes nur an der Nadel des Schreibers, nicht aber in der Kurve zu sehen waren. Wehner, Morgenstern und Zeumer [40] bestätigten einen Druckabfall im Markraum des frakturierten Knochens bis auf Werte von 9 mm Hg bis 10 mm Hg in der distalen Metaphyse 5 bis 8 Tage nach dem Unfall. Bei der Eröffnung der Markhöhle mit dem Pfriem registrierten sie Drucksteigerungen auf 20 bis 25 mm Hg, ähnlich wie bei

Repositionsmanövern. Beim Einführen des Führungsspießes messen sie einen Druckanstieg auf 90 mm Hg, bei den nachfolgenden Bohrungen bis 120 mm Hg, sowie Unterdrucke beim Zurückziehen des Bohrers bis -100 mm Hg. Bei der Nagelung liegen die Drucke niedriger. Die Arbeitsgruppe Wehners betont die nahezu trägheitslose Registrierung über einen Statham pressure transducer, übersieht es dabei jedoch, den Lichtpunktlinienschreiber mit einem Papiervorschub von nur 0,2 mm/s bis 1 mm/s in seine Überlegung miteinzubeziehen. Die Lokalisation ihres Meßpunktes in der distalen Metaphyse läßt einen gedämpften Druckkurvenverlauf vermuten.

Danckwardt-Lilieström berichtet von einem Druckabfall auf 30 mm Hg nach Eröffnung der Kaninchentibia mit dem Pfriem [3]. Während der Arbeit mit dem Pfriem mißt er Druckanstiege um 25 mm Hg mit Druckspitzen von über 100 mm Hg, aber auch negativen Drucken. Beim Einsetzen des Bohrers beschreibt er Drucke weit über 300 mm Hg, besonders bei schnellem Vorwärtsbewegen des Bohrers. Negative Drucke entstehen beim Zurückziehen des Bohrers. Bei Verwendung einer Flaschenbürste an Stelle des Bohrers entstehen beträchtlich höhere Drucke. Schließlich vergleicht er seine erhaltenen Meßdaten, obwohl diese wesentlich höher liegen, mit den von Wehner [40] gemessenen Werten und betont, daß bei vorsichtiger und langsamer Vorgehensweise hohe Drucke vermeidbar sind. Ebenso wie die Daten Wehners sind diese an den Tibiae von zwei Kaninchen ermittelten Daten als Einzelwerte zu sehen. Stürmer und Schuchardt [38] berichteten erstmals 1980 über exakte quantitative Daten. Sie ermittelten die Mittelwerte der Druckspitzen aus den Aufbohrungen von 19 Schafstibiae. Die Versuchsanordnung zur Druckmessung ist bis auf eine Osteotomie in Schaftmitte ähnlich zur Versuchsanordnung in dieser Arbeit. Diese Osteotomie bot eine Druckentlastungsmöglichkeit für das proximale Fragment. Der Druck am proximalen Meßpunkt (Druckent-

lastung durch die Osteotomie) betrug nur 2/3 des Druckes im distalen Fragment (ohne Druckentlastung). In vorliegenden Arbeit konnte kein so gravierender Unterschied zwischen proximal und distal registriertem Druck gefunden werden. Die von Stürmer und Schuchardt beschriebenen Drucke sind ihrer Höhe nach und dem Grad der Druckreduktion durch die Osteotomie vergleichbar mit den Daten der vorliegenden Arbeit. Als Ausgangsdruck im Markraum geben Stürmer und Schuchardt 30 mm Hg bis 40 mm Hg systolisch und 25 bis 35 mm Hg diastolisch an. Ohne Osteotomie sei der Druck nur geringfügig höher gelegen; die Drucke bei der Eröffnung der Markhöhle mit dem Pfriem entsprechen distal den Werten der vorliegenden Arbeit, proximal liegen sie bei weitem höher. Vielleicht ist dies durch unterschiedlich weites Vortreiben des Pfriems in die Markhöhle zu erklären. Die Werte des Bohrdorns mit über 1000 mm Hg und die Feststellung, daß die Drucke beim Bohrdorn und den ersten Markraumbohrern am höchsten sind und dann abfallen, können bestätigt werden. Ebenso, daß bei "in-vitro-Versuchen" an entnommenen Knochen nur bei der ersten Bohrung hohe Drucke entstehen und somit "in-vitro-Versuche" dem Tierexperiment nicht nahe kommen. Die Aussage Stürmers, daß bei weiter steigendem Bohrkopfdurchmesser der Druck wieder ansteige, konnte nicht nachvollzogen werden. Die Druckreduktion durch das distale Entlastungsloch ist signifikant und beträgt etwa ein Drittel der Werte ohne Entlastungsloch.

4.2.3. Bestimmung der Blutfette

Das Thema Fettembolie soll in dieser Arbeit nicht ausführlich diskutiert werden. Es kann nur auf einige Arbeiten hingewiesen werden, die sich mit der Fettembolie im Zusammenhang mit Fraktur, Aufbohrung oder Marknagelung beschäftigten. Die von Schultze und Behan 1912 registrierten negativen Drucke im Markraum [30] führten zu der Theorie, daß die Fettembolie bei der Fraktur langer Röhrenknochen durch eine Sogwirkung entstehe. Schon ein Jahr später wurde diese Theorie durch die Druckmessungen Rothmanns [28] widerlegt. Hoffheinz [13] vermutete eine Drucksteigerung im Markraum des frakturierten Knochens und im Bruchhämatom, welche zur Ausschwemmung losgelösten Fettes in das Venensystem führen sollte.

Nach Einführung der Marknagelung nach Gerhard Küntscher stellte sich die Frage der Fettembolie erneut. Küntscher [15] hielt die Gefahr für gering, da Blut und Markfett am Nagel entlang entweichen können, so daß kein Überdruck entsteht. Häbler [11] berichtet 1944 über sechs Fälle von Fettembolie nach Marknagelung. Aus der geschilderten Epikrise sind immer erhebliche intraoperative Komplikationen oder Kreislaufinstabilität zu entnehmen. Häbler hält eine Einschwemmung von Fett in eröffnete Venen für vermeidbar, wenn genügend große Ausschwemmöffnungen in Form der Einschlagstelle des Nagels oder des Bruchspaltes bestehen. 1950 beschreibt Senff detailliert 2 Fälle von Fettembolie nach Marknagelung [34]. Küntscher entgegnet hierauf, daß die Gefahr der Fettembolie vermeidbar ist durch längere Pausen zwischen den einzelnen Hammerschlägen, so daß der Druck wieder absinken kann [16]. In einem Schlußwort weist Senff auf ein seitliches Bohrloch im distalen Fragment hin, welches zur Entlastung dienen soll [35]. Rehm [22,23] findet sowohl in der gravimetrischen Gesamtfettbestimmung nach Bloor als auch im Blut der V.femoralis keinen Anhalt

für eine Steigerung des Blutfettgehaltes nach Marknagelung. Aus der Tatsache, daß der Druck im Markraum nach Fraktur absinkt, schließt er, daß die Frakturstelle und das Bruchhämatom keine Bedeutung für die Entstehung der Fettembolie haben. In seinem 1962 veröffentlichten Buch "Praxis der Marknagelung" [17] weist Küntscher auf den Operationsschock als Quelle der Fettembolie hin und bezeichnet die früher verwendeten Repositionsapparate als "Quetschgeräte" und "Versuchsanordnung zur Histaminausschüttung". Wehner, Morgenstern und Zeumer [40] haben nach Marknagelung weniger Fettembolien ($0,5 \pm 0,2 \%$) beobachtet als nach einem Unfalltrauma ($1,1 \pm 0,1 \%$). Sie benennen den Operationsschock als Ursache für die Fettembolie nach Knochenoperationen aufgrund der Auswertung der Epikrisen, der im eigenen Krankengut vorgekommenen Todesfälle. Olerud et. al. beobachteten 1969 Partikel von Markrauminhalt im Blut der Vena femoralis während eines Bohrganges [20]. Dankwardt Liliestrom fand eine Sterblichkeit von 11 % aufgrund von Fettembolie in der Gruppe seiner Versuchstiere, deren Tibiae ohne Entlastungsloch und Absaugen der Markhöhle aufgebohrt wurden. Weitere 10 % dieser Gruppe zeigten Anzeichen einer nicht tödlich verlaufenden Fettembolie [4]. Trotz dieser experimentellen Daten hat sich heute die Anschauung durchgesetzt, daß der prä- oder intraoperative Schock als Hauptursache für die Fettembolie bei Knochenoperationen anzusehen ist [12].

Die experimentellen Daten der vorliegenden Arbeit zeigen eine geringe relative Erhöhung (relativ zur Blutverdünnung durch intraoperative Infusionsgaben) des Gehaltes an Triglyceriden im Blut der Vena femoralis communis. Gegenüber den Werten für Cholesterin und den Werten für Triglyceride im Blut der Arteria carotis communis ist sogar eine relative Erhöhung von etwa 20 % festzustellen. Die Frage, ob diese Werte ausreichend sind zur Erzeugung einer klinisch manifesten Fettembolie kann nicht beantwortet werden,

da die Tiere postoperativ euthanisiert wurden. Ein Operationsschock kann durch die blutige Überwachung des Blutdruckes ausgeschlossen werden. Abschließend sei noch die Einschränkung angebracht, daß in der Klinik wohl kaum vier Marknagelungen mit Aufbohrung in einer Sitzung vorgenommen werden.

4.3. Untersuchung der Vascularisation

4.3.1. Methodik

Die Fuchsinfärbung eignet sich zur Vitalitätsdiagnostik der Knochengrunds substanz. Nekrotisches Gewebe erscheint dabei heller als das nicht nekrotische, fuchsinpermeable Gewebe [7]. Die Zone der Nekrose wird auch als avitaler Knochen, die Zone des Zelluntergangs bei funktionstüchtiger Knochengrunds substanz als devitaler Knochen bezeichnet [32]. Da in vorliegender Arbeit die Tiere postoperativ euthanisiert wurden, konnte sich avitaler Knochen nicht demarkieren. Die Querschnitte mit und ohne Entlastungsloch waren vollständig mit Fuchsin anfärbbar, was ihre präoperative Vitalität beweist.

Die Fettfärbung mit Scharlachrot zeigte Fett aus dem Markraum in den Knochenkanälchen. Eine genaue Grenzlinie ließ sich dabei nicht ausmachen, es wurde jedoch stellenweise Fett bis in den subperiostalen Bereichen der Corticalis gefunden. Diese Beobachtung deckt sich mit den Befunden aus der Literatur [4,38,42].

Die Mikroradiographie zeigt unmittelbar postoperativ keine An- oder Abbauvorgänge. Markraumwärts sind der Corticalis Bohrmehl und Knochenspäne angelagert. Bohrmehl bis in den Knochenkanälchen, wie in der Literatur beschrieben [9,38,42], konnte nur selten und nur bei großen Knochenkanälchen entdeckt werden (z.B. A. nutritia). Die Tuschefüllung der Kapillarstrecke (Arteriolen, Kapillaren, Venolen [7,10])

und der Venen wurde mikroangiographisch in modifizierter Spalteholztechnik ausgewertet. Dieses Prinzip der Untersuchung läßt sich in der Literatur mehrfach finden [4,5,10,24,25,33,36,37]. Durch Zuhilfenahme eines Diaprojektors ließ sich eine 11,51-fache Vergrößerung erreichen. Dies zusammen mit der Verwendung des Hipad-Digitizers führt zu hoher Genauigkeit bei der Planimetrierung der einzelnen Flächen.

4.3.2. Ergebnisse

Die Fragestellung dieser Arbeit zielt in erster Linie auf die intramedullär entstehenden Drucke während der Aufbohrung und deren mögliche Reduktion durch ein distales Entlastungsbohrloch. Es wurden 7 bis 8 Bohrgänge pro Aufbohrung durchgeführt und dabei bis an die Grenzen des Möglichen gegangen. Daraus resultiert eine maximale Schädigung der Vascularisation der Corticalis. Die Aussagekraft der quantitativen und vergleichenden Untersuchung zur Vascularität ist somit schon von der Versuchsanlage eingeschränkt. Man kann sagen, daß bei maximaler Aufbohrung auch eine Druckentlastung in Form eines distalen Entlastungsloches (unmittelbar postoperativ) zu keiner besseren Vascularisation führt. Danckwardt-Lilieström [4,5] beobachtete bei Aufbohrung der Kaninchentibia um nur 0,5 mm unter Druckentlastung eine signifikant bessere Vascularisation der Corticalis, nach 1, 2 und 4 Wochen. Die unterschiedlichen Ergebnisse lassen sich durch die verschiedene Vorgehensweise und auch die verschiedenen postoperativen Zeiten der Untersuchung erklären. In der Gruppe der Versuchstiere ohne Druckentlastung ermittelt Danckwardt-Lilieström einen Anteil des avasculären Cortex von 21,5 % 1 Woche postoperativ in der Gruppe mit Druckentlastung von nur 6,2 %. In vorliegender Arbeit liegt der vascularisierte Anteil der Corticalis bei 40 % bis 76 % der Gesamtfläche, die Schädigung ist also bei weitem größer (24 % bis 60 % der Corti-

calis sind avasculär). Diese Daten decken sich mit den sonst in der Literatur vorhandenen Zahlen [2, 8, 21, 24, 26, 38]. Um schließlich definitive Aussagen über eine mögliche Verbesserung der Vascularisation und der Revascularisation durch das Entlastungsloch machen zu können, müßte man eine zeitlich gestaffelte histomorphologische Untersuchung der Nekrose durchführen. Dazu müßte unter Bedingungen des Aufbohrens, wie sie auch in der Klinik üblich sind, nicht nur die mikroangiographische Technik, sondern auch histomorphologische Techniken zum Nachweis der Vitalität angewandt werden. Erst die Kombination beider Verfahren lassen definitive Aussagen zu [7,8,21,32,38].

5. Zusammenfassung

Die bei der Aufbohrung für die Marknagelung intramedullär entstehenden Drucke wurden in Tibiae und Femora von sieben Hunden untersucht. Dabei wurde je eine Tibia und ein Femur eines Tieres mit einem distal angebrachten Druckentlastungsbohrloch von 3,2 mm Durchmesser aufgebohrt. Die korrespondierenden Knochen wurden ohne Druckentlastungsloch behandelt und zum Vergleich herangezogen.

Der Ausgangsdruck zeigt pulssynchrone Schwankungen und sinkt nach Eröffnung der Markhöhle durch das Entlastungsloch oder den Pfriem. Hohe Druckspitzen über 1000 mm Hg entstehen erstmals beim Einführen des Bohrdorns und bei Aufweitung der Markhöhle mit dem Handbohrer mit 6 mm Durchmesser.

Die ersten vier verwendeten Markraumborher erzeugen Spitzen-drucke von 516 bis 840 mm Hg in der Tibia und zwischen 426 und 789 mm Hg im Femur ohne Entlastungsloch. Durch das Entlastungsloch können diese Drucke signifikant reduziert werden. Bei den folgenden drei bis vier Bohrgängen lagen die Drucke mit und ohne Entlastungsloch wesentlich niedriger als bei den ersten vier Bohrgängen. Eine signifikante Druckreduktion ergab sich bei den letzten drei bis vier Bohrgängen im Femur, in der Tibia erschien die Druckreduktion in dem Bereich der niedrigen Drucke fraglich. Die Durchblutungsverhältnisse in der Corticalis nach der Aufbohrung wurden durch intraarterielle Gabe von Tusche-lösung und Planimetrieren der durchbluteten Flächen am Computer morphologisch untersucht. Die Corticalis ist je nach Schnitthöhe verschieden stark geschädigt, dabei sind mit und ohne Entlastungsloch 26 % bis 60 % avasculär. Diese Ergebnisse sollten jedoch unter weniger radikalem Aufbohren und bei längerer postoperativer Versuchsdauer überprüft werden.

Schlußfolgerungen:

Es ist für die klinische Praxis zu Überlegen, ob bei der Verriegelungsnagelung nicht zuerst ein distales Entlastungsbohrloch geschaffen werden kann, in welches dann der Verriegelungsbolzen eingeführt wird. Der Bohrdorn sollte langsam in die Markhöhle eingeführt werden und die Aufbohrung langsam und vorsichtig erfolgen, um die intramedulläre Druckentwicklung nicht zu forcieren. Die Aufbohrung führt zu einem Gefäßschaden, besonders der Innenschicht der Corticalis. Ob der Gefäßschaden bei angelegtem Entlastungsloch besser kompensiert werden kann, läßt sich hier nicht belegen und ist Gegenstand weiterer quantitativer Untersuchungen.

6. Anhang

Tabelle 9: Kenndaten der Versuchstiere: Rasse, Geschlecht, Gewicht, Alter, Länge der Tibiae und Femora mit und ohne Entlastungsloch. Durchschnittliches Gewicht: 32,3 kg, durchschnittliches Alter: etwa 4 Jahre, durchschnittliche Länge Tibiae: 21,2 cm, Femora: 21 cm.

	Rasse	Geschlecht	Gewicht	Alter	Länge Tibia mit/ohne		Länge Femur mit/ohne	
Hund 1	Schäfer	♀	31 kg	5 J.	21	/21	21	/21
Hund 2	Schäfer	♀	38 kg	6 J.	22	/22	21,5	/21,5
Hund 3	Schäfer	♀	28,5 kg	3 J.	21	/21	21	/21
Hund 4	Schäfer	♂	34,2 kg	4 J.	21	/21	21	/21
Hund 5	Schäfer	♀	30 kg	3-4 J.	20	/20	20	/20
Hund 6	Mischling	♂	35 kg	4 J.	23	/23	22,5	/22,5
Hund 7	Schäfer	♀	29,4 kg	3-4 J.	20,5	/20,5	20	/20

Tabelle 10: Ausgangsdrucke im Markraum vor und nach der ersten Eröffnung der Markhöhle. (Auf der Seite mit Entlastungsloch geschah dies durch das Bohren des Entlastungsloches. Auf der Seite ohne Entlastungsloch durch den Pfriem.)

[mm Hg]	Vor Eröffng. d. Markhöhle				Nach Eröffng. d. Markhöhle			
	Tibia proximal	Tibia distal	Femur prox.	Femur dist.	Tibia prox.	Tibia dist.	Femur prox.	Femur dist.
Hund 1 m. E	-	-	-	-	-	-	-	-
ohne E	-	48	50	60	-	-	-	-
Hund 2 m. E	55/50	-	-	-	-	-	-	-
ohne E	-	-	30	16	-	-	-	-
Hund 3 m. E	-	-	-	-	-	-	-	-
ohne E	32	53/36	20	20	-	-	-	-
Hund 4 m. E	55/34	56/52	-	45/40	-	44/40	-	-
ohne E	50/30	50/30	-	34/30	-	-	-	-
Hund 5 m. E	75/60	80/60	40/35	40/35	50/40	45/35	32/28	20/18
ohne E	31/25	22/18	35/28	32	18/14	10/8	26/22	32
Hund 6 m. E	82/68	55/53	34/25	38/34	70/50	-	33/27	32
ohne E	44/42	44/42	40/28	28/26	40/38	38	-	-
Hund 7 m. E	45/18	50/22	-	-	31/12	30/10	-	-
ohne E	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 11: Gemessene Drucke bei der Eröffnung der Markhöhle mit dem Pfriem

[mmHg]	mit Entlastungsloch				ohne Entlastungsloch			
	Tibia	Tibia	Femur	Femur	Tibia	Tibia	Femur	Femur
	proximal	distal	proxim.	distal	proxim.	distal	proxim.	distal
Hund 1	50	60	30	70	70	50	160	110
Hund 2	140	-	220	-	50	-	40	-
Hund 3	90	110	90	60	90	50	58	40
Hund 4	100	-	85	75	100	-	98	150
Hund 5	80	80	40	30	75	44	80	70
Hund 6	100	-	30	68	55	40	54	36
Hund 7	70	60	-	-	100	100	40	30

Tabelle 12: Gemessene Drucke beim Einführen des Bohrdorn

[mmHg]	mit Entlastungsloch				ohne Entlastungsloch			
	Tibia	Tibia	Femur	Femur	Tibia	Tibia	Femur	Femur
	proximal	distal	proximal	distal	proxim.	distal	proxim.	distal
Hund 1	-	-	130	150	-	-	110	160
Hund 2	720	-	80	-	260	-	70	40
Hund 3	-	200	100	-	-	400	-	-
Hund 4	230	80	-	-	-	630	-	-
Hund 5	390	400	180	280	470	780	150	180
Hund 6	1000	240	60	60	-	-	60	190
Hund 7	1000	1000	-	-	420	1000	160	150

Tabelle 13: Gemessene Drucke bei der Aufweitung der Markhöhle mit dem Handbohrer (6 mm Durchmesser)

[mmHg]	mit Entlastungsloch		ohne Entlastungsloch	
	Femur proximal	Femur distal	Femur proximal	Femur distal
Hund 1	-	360	-	420
Hund 2	1000	160	1000	820
Hund 3	-	-	-	-
Hund 4	120	450	540	1000
Hund 5	570	370	520	250
Hund 6	1000	1000	570	910
Hund 7	540	480	1000	1000

Tabelle 14: Tabelle der jeweils pro Bohrung maximal aufgewandten Kraft in [N] bei den Bohrern mit 7mm - 11,5mm Ø

			7	8	9	9,5	10	10,5	11	11,5
Hund 1	Tibia ohne E.-loch		20	20	15	20	25	10	15	
	Tibia mit E.-loch		15	20	40	25	30	20	10	
	Femur ohne E.-loch		15	20	20	15	30	10	10	
	Femur mit E.-loch		25	20	30	20	15	15	10	
Hund 2	Tibia ohne E.-loch		10	15	10	60	30	15	80	
	Tibia mit E.-loch		15	10	20	45	25	10	100	
	Femur ohne E.-loch		20	15	20	25	40	10	5	10
	Femur mit E.-loch		15	20	15	20	25	15	10	10
Hund 3	Tibia ohne E.-loch		30	35	40	50	40	30	120	
	Tibia mit E.-loch		20	40	40	45	40	50	-	
	Femur ohne E.-loch		50	50	40	40	10	20	-	
	Femur mit E.-loch		20	30	20	30	20	10	-	
Hund 4	Tibia ohne E.-loch		10	20	20	15	10	10	55	
	Tibia mit E.-loch		15	20	20	10	10	20	60	
	Femur ohne E.-loch		30	25	20	20	25	10	10	10
	Femur mit E.-loch		25	20	15	15	15	15	15	-
Hund 5	Tibia ohne E.-loch		20	40	30	30	20	20	20	
	Tibia mit E.-loch		15	55	30	15	30	20	15	
	Femur ohne E.-loch		50	40	50	50	30	20	25	5
	Femur mit E.-loch		50	50	40	40	20	25	20	20
Hund 6	Tibia ohne E.-loch		20	20	25	30	25	10	40	
	Tibia mit E.-loch		20	20	30	25	20	10	10	
	Femur ohne E.-loch		10	20	20	55	30	10	15	10
	Femur mit E.-loch		20	15	25	30	10	70	15	20
Hund 7	Tibia ohne E.-loch		10	20	40	25	30	25	60	
	Tibia mit E.-loch		20	15	30	20	40	60		
	Femur ohne E.-loch		15	25	50	10	5	5	5	-
	Femur mit E.-loch		35	30	40	10	10	10	5	5

Tabelle 15: Tabelle der pro Bohrung benötigten Zeit [s]
bei den Bohrern mit 7mm - 11,5mm Ø

		7	8	9	9,5	10	10,5	11	11,5
Hund 1	Tibia ohne E.-loch	-	-	-	-	-	-	-	
	Tibia mit E.-loch	-	-	-	-	-	-	-	
	Femur ohne E.-loch	-	-	-	-	-	-	-	-
	Femur mit E.-loch	-	-	-	-	-	-	-	-
Hund 2	Tibia ohne E.-loch	6	9	8	7	4	4	4	
	Tibia mit E.-loch	8	9	8	5	3	4	5	
	Femur ohne E.-loch	12	10	13	10	9	9	7	5
	Femur mit E.-loch	9	8	10	11	7	8	9	4
Hund 3	Tibia ohne E.-loch	8	6	5	6	6	4	4	
	Tibia mit E.-loch	7	6	8	6	5	4	5	
	Femur ohne E.-loch	10	9	6	4	5	4	4	6
	Femur mit E.-loch	9	7	4	6	4	5	5	-
Hund 4	Tibia ohne E.-loch	6	5	5	4	4	6	12	
	Tibia mit E.-loch	6	10	5	6	5	6	10	
	Femur ohne E.-loch	12	9	12	10	12	8	7	10
	Femur mit E.-loch	7	6	9	8	6	7	8	-
Hund 5	Tibia ohne E.-loch	6	-	7	5	7	8	15	
	Tibia mit E.-loch	5	7	10	7	10	10	12	
	Femur ohne E.-loch	15	10	10	12	10	8	8	6
	Femur mit E.-loch	12	15	10	9	6	6	6	5
Hund 6	Tibia ohne E.-loch	9	6	6	4	4	4	7	
	Tibia mit E.-loch	6	9	9	7	4	-	9	
	Femur ohne E.-loch	10	7	6	4	4	4	12	7
	Femur mit E.-loch	7	4	4	3	3	3	9	3
Hund 7	Tibia ohne E.-loch	7	11	8	3	3	3	4	
	Tibia mit E.-loch	6	8	7	3	3	3	3	
	Femur ohne E.-loch	10	9	9	9	12	8	12	5
	Femur mit E.-loch	9	8	12	11	10	7	9	8

Tabellen 16 - 23: Die gemessenen Drucke bei den einzelnen Markraumbóhrern an den 4 Meßpunkten mit und ohne Entlastungsloch

Tabelle 16: Drucke bei den Markraumbóhrern 7 - 11 in der Tibia am proximalen Meßpunkt ohne Entlastungsloch

[mm Hg]	7	8	9	9,5	10	10,5	11
Hund 1	150	-	-	-	130	100	70
Hund 2	300	280	460	-	-	110	-
Hund 3	1000	-	-	1000	490	-	-
Hund 4	-	360	480	710	490	220	190
Hund 5	1000	580	320	190	390	-	-
Hund 6	-	600	1000	850	390	-	-
Hund 7	570	760	1000	390	-	-	-

Tabelle 17: Drucke bei den Markraumbóhrern 7 - 11 mm in der Tibia proximal mit Entlastungsloch

[mm Hg]	7	8	9	9,5	10	10,5	11
Hund 1	360	-	-	-	330	240	240
Hund 2	330	290	455	-	-	130	-
Hund 3	360	-	-	680	170	-	-
Hund 4	-	560	440	110	170	160	60
Hund 5	300	200	600	160	350	-	-
Hund 6	-	660	730	620	350	-	-
Hund 7	590	440	740	140	-	-	-

Tabelle 18: Drucke bei den Markraumbóhrern 7-11 mm in der Tibia distal ohne Entlastungsloch

[mmHg]	7	8	9	9,5	10	10,5	11
Hund 1	910	870	850	560	130	170	90
Hund 2	290	-	800	-	560	-	-
Hund 3	-	1000	-	1000	-	-	-
Hund 4	840	-	550	810	480	220	270
Hund 5	980	990	480	470	300	280	340
Hund 6	520	720	700	980	680	170	300
Hund 7	780	620	1000	1000	380	-	70

Tabelle 19: Drucke bei den Markraumbóhrern 7-11 mm in der Tibia distal mit Entlastungsloch

[mmHg]	7	8	9	9,5	10	10,5	11
Hund 1	680	850	460	680	360	220	280
Hund 2	275	-	430	-	220	-	-
Hund 3	-	750	-	740	-	-	-
Hund 4	380	-	540	290	200	100	200
Hund 5	340	200	610	280	250	280	120
Hund 6	310	700	820	620	380	360	220
Hund 7	540	570	690	490	700	-	80

Tabelle 20: Gemessene Drucke bei den Bohrern 7-11,5 mm im Femur proximal ohne Entlastungsloch

[mmHg]	7	8	9	9,5	10	10,5	11	11,5
Hund 1	-	300	590	300	330	380	440	385
Hund 2	970	960	990	610	-	430	140	140
Hund 3	600	300	280	-	360	270	-	-
Hund 4	510	1000	980	540	510	280	290	-
Hund 5	-	480	-	260	180	-	170	-
Hund 6	760	620	1000	-	260	-	80	60
Hund 7	1000	1000	1000	420	210	160	-	40

Tabelle 21: Gemessene Drucke bei den Bohrern 7-11,5 mm im Femur am proximalen Meßpunkt mit Entlastungsloch

[mmHg]	7	8	9	9,5	10	10,5	11	11,5
Hund 1	-	300	360	800	280	160	180	70
Hund 2	540	380	310	160	-	120	130	60
Hund 3	450	200	180	-	140	170	-	-
Hund 4	450	270	180	240	190	140	120	-
Hund 5	-	150	-	240	270	-	100	-
Hund 6	540	720	740	-	390	-	110	80
Hund 7	360	350	510	110	110	100	-	80

Tabelle 22: Gemessene Drucke bei den Markraumbóhrern 7-11,5 mm
im Femur am distalen Meßpunkt ohne Entlastungsloch

[mmHg]	7	8	9	9,5	10	10,5	11	11,5
Hund 1	-	530	750	480	520	380	440	360
Hund 2	800	-	900	410	-	380	-	120
Hund 3	480	470	440	600	560	255	-	-
Hund 4	410	1000	950	520	540	270	290	-
Hund 5	580	580	480	410	190	120	160	-
Hund 6	750	580	1000	-	260	-	60	80
Hund 7	700	1000	1000	390	210	160	-	-

Tabelle 23: Gemessene Drucke bei den Markraumbóhrern 7-11,5 mm
im Femur am distalen Meßpunkt mit Entlastungsloch

[mmHg]	7	8	9	9,5	10	10,5	11	11,5
Hund 1	-	300	400	870	300	240	220	130
Hund 2	140	-	290	150	-	210	-	140
Hund 3	330	360	220	250	190	160	-	-
Hund 4	320	280	220	240	210	130	140	-
Hund 5	300	280	350	280	270	140	160	-
Hund 6	500	750	930	-	380	-	110	140
Hund 7	520	690	920	270	340	220	-	-

Tabelle 24 - 27: Mittelwerte und Mediane mit und ohne Entlastungsloch, Anzahl der Wertepaare, Signifikanz nach dem Wilcoxon-Paardifferenztest [25], Signifikanzniveau (ab 5 Wertpaaren 0,05, ab 7 Wertpaaren 0,05 oder 0,01)

Tabelle 24: Tibia proximal Bohrer 7mm - 11mm Ø, Werte in [mm Hg]

		7	8	9	9,5	10	10,5	11
ohne Entlastungsloch	Mittelwert	604	516	652	628	378	143	130
	Median	570	580	480	710	390	110	130
mit Entlastungsloch	Mittelwert	388	430	593	342	274	177	150
	Median	360	440	600	160	330	160	150
Zahl der Wertepaare		5	5	5	5	5	3	2
Signifikanz		nein	nein	nein	ja	nein	-	-
Signifikanzniveau p		-	-	-	0,05	-	-	-

Tabelle 25: Tibia distal Bohrer 7mm - 11mm Ø, Werte in [mm Hg]

		7	8	9	9,5	10	10,5	11
ohne Entlastungsloch	Mittelwert	720	840	730	803	377	210	214
	Median	810	870	750	895	430	195	270
mit Entlastungsloch	Mittelwert	420	614	592	517	352	240	180
	Median	360	700	575	555	305	250	200
Zahl der Wertepaare		6	5	6	6	6	4	5
Signifikanz		ja	ja	nein	ja	ja	-	-
Signifikanzniveau		0,05	0,05	-	0,05	0,05	-	-

Tabelle 26: Femur proximal Bohrer 7mm - 11,5mm Ø, Werte
in [mm Hg]

		7	8	9	9,5	10	10,5	11	11,5
ohne Entlas-	Mittelwert	768	666	807	426	308	304	224	156
tungsloch	Median	760	620	985	420	295	280	170	100
mit Entlas-	Mittelwert	468	339	380	310	230	138	128	73
tungsloch	Median	450	300	335	240	230	140	120	75
Zahl der Wertepaare		5	7	6	5	6	5	5	4
Signifikanz		ja	ja	ja	nein	ja	ja	-	-
Signifikanzniveau		0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	-	-

Tabelle 27: Femur distal Bohrer 7mm - 11,5mm Ø, Werte
in [mm Hg]

		7	8	9	9,5	10	10,5	11	11,5
ohne Entlas-	Mittelwert	620	693	789	468	380	261	238	187
tungsloch	Median	640	580	900	445	390	262	225	120
mit Entlas-	Mittelwert	352	443	476	343	265	183	158	137
tungsloch	Median	325	330	350	260	275	185	150	140
Zahl der Wertepaare		6	6	7	6	6	6	4	3
Signifikanz		ja	ja	ja	nein	ja	ja	-	-
Signifikanzniveau		0,05	0,05	0,01	-	0,05	0,05	-	-

Tabelle 28: Zeitpunkt der Blutentnahme bei den Hunden 1 bis 5 zur Bestimmung von Cholesterin und Triglyceriden im Serum. Die Entnahme erfolgte simultan aus der V.femoralis communis (peripher) der behandelten Extremität und der A. carotis communis (zentral)

1. Blutentnahme: Vor Aufbohrung der ersten Tibia
2. Blutentnahme: Nach dem ersten Bohrgang in der ersten Tibia
3. Blutentnahme: Nach dem letzten Bohrgang in der ersten Tibia
4. Blutentnahme: Vor Aufbohrung der zweiten Tibia
5. Blutentnahme: Nach dem 1. Bohrgang in der zweiten Tibia
6. Blutentnahme: Nach dem letzten Bohrgang in der zweiten Tibia
7. Blutentnahme: Vor Aufbohrung des 1. Femur
8. Blutentnahme: Nach dem 1. Bohrgang im ersten Femur
9. Blutentnahme: Nach dem letzten Bohrgang im ersten Femur
10. Blutentnahme: Vor Aufbohrung der zweiten Femur
11. Blutentnahme: Nach dem ersten Bohrgang im zweiten Femur
12. Blutentnahme: Nach dem letzten Bohrgang im zweiten Femur

Tabelle 29 : Meßwerte für Cholesterin in [mg/100 ml] im zentral (A. carotis communis) entnommenen Blut bei den Hunden 1 bis 5 zu den Entnahmezeiten 1 bis 12

	Hund 1	Hund 2	Hund 3	Hund 4	Hund 5
1	102	124	132	166	152
2	101	122	128	170	152
3	94	120	125	165	146
4	101	119	121	165	145
5	85	113	120	164	145
6	78	112	113	162	145
7	77	108	110	154	137
8	73	104	108	150	134
9	69	103	107	149	133
10	68	93	99	133	123
11	66	88	89	121	114
12	65	84	90	124	115

Tabelle 30 : Meßwerte für Cholesterin in [mg/100ml] im
peripher (V. femoralis communis) ent-
nommenen Blut bei den Hunden 1 bis 5 zu
den Entnahmezeiten 1 bis 12

	Hund 1	Hund 2	Hund 3	Hund 4	Hund 5
1	109	132	128	173	154
2	102	131	127	172	153
3	93	129	125	167	147
4	115	124	125	166	145
5	117	121	123	164	146
6	105	114	120	159	141
7	98	111	117	150	137
8	92	109	115	155	135
9	100	88	114	135	121
10	97	92	110	122	118
11	95	93	112	126	117
12	95	93	111	125	117

Tabelle 31 : Meßwerte für Triglyceride in [mg/100ml] im
zentral (Arteria carotis communis) ent-
nommenen Blut bei den Hunden 1 bis 5 zu
den Entnahmezeiten 1 bis 12

	Hund 1	Hund 2	Hund 3	Hund 4	Hund 5
1	46	48	54	59	49
2	43	48	54	62	50
3	40	47	59	57	51
4	45	47	52	55	47
5	44	48	57	52	50
6	37	46	47	50	49
7	36	45	45	52	48
8	35	41	43	52	46
9	33	42	43	51	48
10	33	39	38	51	40
11	32	36	34	45	45
12	32	36	35	45	43

Tabelle 32 : Meßwerte für Triglyceride in [mg/100ml] im peripher (Vena femoralis communis) entnommenen Blut bei den Hunden 1 bis 5 zu den Entnahmezeiten 1 bis 12

	Hund 1	Hund 2	Hund 3	Hund 4	Hund 5
1	52	52	59	75	56
2	47	53	57	69	58
3	41	57	65	63	57
4	53	54	61	60	54
5	55	55	60	59	56
6	54	50	45	53	49
7	52	49	45	60	52
8	54	50	48	62	52
9	51	45	39	57	57
10	54	45	47	55	52
11	54	44	47	55	55
12	56	45	50	51	57

Tabelle 33: Gesamtfläche der Corticalis cm² in den Schnittebenen 1 bis 3 in der Tibia mit und ohne Entlastungsloch

[cm ²]	mit Entlastungsloch			ohne Entlastungsloch		
	1.Ebene	2.Ebene	3.Ebene	1.Ebene	2.Ebene	3.Ebene
Hund 1	1,2533	1,0275	1,0116	1,1716	0,8156	0,9373
Hund 2	0,6035	0,5793	0,4650	0,6101	0,5714	0,4594
Hund 3	1,0458	0,7262	0,7785	0,9864	0,6961	0,6514
Hund 4	0,6956	0,5547	0,8939	0,5961	0,5052	0,5605
Hund 5	0,9835	0,6135	0,5601	0,9298	0,6476	0,6408
Hund 6	0,9853	0,7458	0,9894	1,0151	0,7285	1,0166
Hund 7	1,5224	1,0718	1,2069	1,4178	1,0396	1,2491

Tabelle 34: Gesamtfläche der Corticalis cm² in den Schnittebenen 1 bis 3 im Femur mit und ohne Entlastungsloch

[cm ²]	mit Entlastungsloch			ohne Entlastungsloch		
	1.Ebene	2.Ebene	3.Ebene	1.Ebene	2.Ebene	3.Ebene
Hund 1	0,7651	0,6846	1,1226	0,7620	0,8169	1,0473
Hund 2	0,5671	0,4727	0,5047	0,6170	0,5609	0,5868
Hund 3	0,8253	0,7396	1,7450	0,8653	0,7499	1,5857
Hund 4	0,7385	0,5174	1,4289	0,5961	0,6105	1,2729
Hund 5	0,7732	0,7367	0,8514	0,7929	0,8250	0,9477
Hund 6	0,9124	0,8146	1,0672	0,9459	0,8114	0,9981
Hund 7	0,7739	0,8269	1,1386	0,7546	0,8837	0,8924

Tabelle 35: Fläche der vascularisierten Corticulis cm² in den Schnittebenen 1 bis 3 an der Tibia mit und ohne Entlastungsloch

[cm ²]	mit Entlastungsloch			ohne Entlastungsloch		
	1.Ebene	2.Ebene	3.Ebene	1.Ebene	2.Ebene	3.Ebene
Hund 1	0,6006	0,8001	0,7698	0,7575	0,5605	0,6653
Hund 2	0,3776	0,2520	0,2568	0,3974	0,2071	0,2111
Hund 3	0,4126	0,2475	0,1543	0,3385	0,2506	0,1994
Hund 4	0,4243	0,2272	0,4827	0,3801	0,2425	1,2035
Hund 5	0,4410	0,3993	0,1975	0,4860	0,3803	0,3653
Hund 6	0,2865	0,4814	0,6362	0,2731	0,4245	0,5954
Hund 7	1,2326	0,8238	0,8815	0,9938	1,0031	0,8462

Tabelle 36: Fläche der vascularisierten Corticulis cm² in den Schnittebenen 1 bis 3 am Femur mit und ohne Entlastungsloch

[cm ²]	mit Entlastungsloch			ohne Entlastungsloch		
	1.Ebene	2.Ebene	3.Ebene	1.Ebene	2.Ebene	3.Ebene
Hund 1	0,3366	0,2875	0,8195	0,3657	0,3268	0,7959
Hund 2	0,2662	0,3182	0,3286	0,3083	0,2496	0,3622
Hund 3	0,1530	0,1357	1,5666	0,1978	0,2566	1,4916
Hund 4	0,2813	0,2841	1,3134	0,3076	0,2442	0,2515
Hund 5	0,5388	0,2397	0,4279	0,4114	0,3301	0,5299
Hund 6	0,3089	0,3026	0,7724	0,3717	0,2935	0,7583
Hund 7	0,4122	0,3380	0,7987	0,4864	0,3958	0,6650

Tabelle 37: Indices aus den Flächen der vascularisierten Corticalis und der gesamten Corticalis bei den Schnittebenen 1 bis 3 in der Tibia mit und ohne Entlastungsloch

	mit Entlastungsloch			ohne Entlastungsloch		
	1.Ebene	2.Ebene	3.Ebene	1.Ebene	2.Ebene	3.Ebene
Hund 1	0,48	0,78	0,76	0,65	0,69	0,69
Hund 2	0,63	0,44	0,55	0,65	0,36	0,46
Hund 3	0,39	0,34	0,20	0,34	0,36	0,31
Hund 4	0,61	0,41	0,54	0,52	0,48	0,45
Hund 5	0,45	0,65	0,35	0,52	0,59	0,57
Hund 6	0,29	0,65	0,64	0,27	0,58	0,59
Hund 7	0,81	0,77	0,73	0,70	0,73	0,68

Tabelle 38: Indices aus den Flächen der vascularisierten Corticalis und der gesamten Corticalis bei den Schnittebenen 1 bis 3 im Femur mit und ohne Entlastungsloch

	mit Entlastungsloch			ohne Entlastungsloch		
	1.Ebene	2.Ebene	3.Ebene	1.Ebene	2.Ebene	3.Ebene
Hund 1	0,44	0,42	0,73	0,48	0,46	0,73
Hund 2	0,47	0,67	0,65	0,50	0,45	0,62
Hund 3	0,19	0,18	0,90	0,23	0,34	0,94
Hund 4	0,38	0,55	0,92	0,52	0,31	0,94
Hund 5	0,70	0,33	0,50	0,59	0,43	0,56
Hund 6	0,34	0,37	0,72	0,39	0,36	0,76
Hund 7	0,53	0,41	0,70	0,64	0,45	0,75

7. Literaturverzeichnis

1. van de Berg A., Dambe L.T., Schweiberer L.: Angiographie und mikroangiographische Technik an der Tibia des Hundes. Angiographie und ihre Fortschritte. Georg Thieme Verlag, Stuttgart (1972)
2. Dambe L.T.: Revascularisation der Diaphyse langer Röhrenknochen nach Fraktur und Osteosynthese. Inauguraldissertation der Medizinischen Fakultät der Universität des Saarlandes (1971)
3. Danckwardt-Lilieström G.: Reaming of the medullary cavity and its effect on diaphyseal bone. Acta Orthop. Scand. [Suppl.] 128: I (1969)
4. Danckwardt-Lilieström G., Lorenzi L., Olerud S.: Intramedullary nailing after reaming. Acta Orthop. Scand. [Suppl.] 134 (1970)
5. Danckwardt-Lilieström G., Lorenzi L., Olerud S.: Intracortical Circulation after intramedullary reaming with reduction of pressure in the medullary cavity. J. Bone Jt. Surg. 52-A: 1390 (1970)
6. Danckwardt-Lilieström G.: Intramedullary nailing of femoral shaft fractures after reaming of the medullary cavity. Acta Chir. Scand. 139: 155-166 (1973)
7. Eitel F., Seiler H., Schweiberer L.: Vergleichende morphologische Untersuchungen zur Übertragbarkeit tierexperimenteller Ergebnisse auf den Regenerationsprozeß des menschlichen Röhrenknochens. Unfallheilkunde 84: 250-264 (1981)

8. Eitel F.: Indikation zur operativen Frakturbehandlung. Hefte zur Unfallheilkunde 154, Springer Verlag (1981)
9. Eitel F.: Das Planimetrieren von Flächen mit dem Hipad-Digitizer, Persönliche Mitteilung (1985)
10. Eitel F., Seibold R., Hohn B., Schweiberer L.: Präparationstechnische Weiterentwicklung und Standardisierung der microangiographischen Untersuchungsmethode nach Spalteholz. Unfallchirurg. 89: 326-336 (1986)
11. Häbler C.: Die stabile Osteosynthese. Taschenbücher des Truppenarztes Band VII, J.F. Lehmanns Verlag, München-Berlin (1944)
12. Heberer G., Köle W., Tscherne H.: Chirurgie, Springer Verlag Berlin-Heidelberg-New York, 4. Auflage (1983)
13. Hoffheinz S.: Die Luft- und Fettembolie. In Neue Deutsche Chirurgie Bd. 55 (1933)
14. Küntscher G.: Die Marknagelung von Knochenbrüchen. Arch. Clin. Chir. 200:443 (1940)
15. Küntscher G.: Die stabile Osteosynthese bei der Osteotomie. Chirurg 14: 161 (1942)
16. Küntscher G.: Bemerkungen zu der Arbeit von A. Senff: "Die Gefahren der Fettembolie bei der Marknagelung nach Küntscher". Zbl. Chir. H11: 731 (1951)
17. Küntscher G.: Praxis der Marknagelung. Friedrich-Karl-Schattauer Verlag, Stuttgart (1962)

18. Lehn N.: Programm zur Berechnung unregelmäßiger Flächen, deren Koordinaten über Hipad-Digitizer eingespeist wurden. Persönliche Mitteilung (1985)
19. Maatz R., Lenz W., Arens W., Beck H.: Die Marknagelung und intramedulläre Osteosynthesen. Schattauer Verlag, Stuttgart (1983)
20. Olerud S., Danckwardt-Lilieström G., Lorenzi L.: Do medullary components appear in the femoral vein during the reaming of the tibia? Europ. Surg. Res. 1/3: 243 (1969)
21. Pfister U., Rahn B.A., Perren S.M., Weller S.: Vascularität und Knochenumbau nach Marknagelung langer Röhrenknochen. akt. traumatol 9: 191 (1979)
22. Rehm J.: Druckmessung im Knochenraum und Bestimmung des Gesamtfettgehalts in den abführenden Venen bei Küntschernagelung. Langenbecks Arch. u. Dtsch. Z. Chir. Bd. 283: 452-457 (1956)
23. Rehm J.: Experimentelle Untersuchung zur Entstehung der Fettembolie beim Knochenbruch. Langenbecks Arch. u. Dtsch. Z. Chir. Bd. 285: 230 (1957)
24. Reich H.: Die Infektion und Regeneration des frischen Knochenbruchs unter besonderer Berücksichtigung der Marknagelung nach Küntscher. Z. Orthop. 77: 97 (1948)
25. Rhinelander F.W., Baragry R.A.: Microangiographie in Bone Healing. J. Bone Jt. Surg. 44-A: 1273-1298 (1962)

26. Rhinelander F.W.: Effects of medullary nailing on the normal blood supply of diaphyseal cortex. In: Instructional course lectures. The American Academy of Orthopedic Surgeons. Vol. XXII: 161 (1973)
27. Romeis B.: Mikroskopische Technik. R. Oldenbourg Verlag München-Wien (1968)
28. Rothmann M.: Über "negativen" Druck in den langen Röhrenknochen des Hundes. Münch. Med. Wschr. 30, 1664 (1913)
29. Sachs L.: Statistische Auswertungsmethoden. Springer Verlag Berlin-Heidelberg-New York, S. 312-314 (1968)
30. Schultze E.O.P., Behan B.J.: Über negativen Druck in den langen Röhrenknochen des Hundes. Münch. Med. Wschr. 52, 2849 (1912)
31. Schweiberer L., Schenk R.: Histomorphologie und Vascularisation der sekundären Knochenbruchheilung unter besonderer Berücksichtigung der Tibiaschaftfraktur. Unfallheilkunde 80: 275 (1977)
32. Schweiberer L., Eitel F.: Gefäßversorgung des Knochens und Knochenbruchheilung. Zeitschriftenreihe Unfallmedizinische Tagungen der Landesverbände der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Kiel (1981)
33. Seibold R.: Vascularisation des Knochengewebes - Untersuchungstechniken und deren Standardisierung. Inauguraldissertation der Medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München (1986)
34. Senff A.: Die Gefahren der Fettembolie bei der Marknagelung nach Küntscher. Zbl. Chir. H5: 339 (1950)

35. Senff A.: Schlußwort zu den Bemerkungen von G. Küntscher zu meiner Arbeit: "Die Gefahren der Fettembolie bei der Marknagelung nach Küntscher". Zbl. Chir. H11: 734 (1951)
36. Spalteholz W.: Das Durchsichtigmachen von menschlichen und tierischen Präparaten. Hirzel Leipzig (1911)
37. Spalteholz W.: Das Durchsichtigmachen als biologische Arbeitsmethode. Handbuch biologischer Arbeitsmethoden 9: 409-436 (1924)
38. Stürmer K.M., Schuchardt W.: Neue Aspekte der gedeckten Marknagelung und des Aufbohrens der Markhöhle im Tierexperiment. Unfallheilkunde 83: 341-352 und 433-445 (1980)
39. Süssle H.J.: Der enossale Druck. Zschr. inn. Med. 11 Nr. 5 (1956)
40. Wehner W., Morgenstern C., Zeumer G.: Das Verhalten des intramedullären Druckes bei Markbohrung und -nagelung. Zbl. Chir. H7: 209 (1966)
41. Wehner W.: Die Fettembolie. VEB Verlag Volk und Gesundheit, Berlin (1968)
42. Zucman J., Maurer P., Berbesson C.: Etude expérimentale de l'action ostéogénique des greffes de périoste, des greffes de moelle osseuse et de l'alésage centro-médullaire. Rev. Chir. Orthop. 54: 221 (1968)

8. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Priv.-Doz. Dr. F. Eitel, Oberarzt an der Chirurgischen Universitätsklinik München Innenstadt, für die Überlassung des Themas meiner Dissertation und für wertvolle Hinweise zur Gestaltung der Arbeit. Besonderer Dank gilt auch Herrn Prof. Dr. L. Schweiberer für die Bereitstellung der Einrichtungen der Klinik. Des weiteren möchte ich Herrn Dr. A. Schmölder, und Herrn Dr. S. Kessler für ihre Mitarbeit bei den Operationen an den Versuchstieren danken. Herr Dr. N. Lehn war so freundlich, mich am Olivetti Personal Computer zu unterweisen und ein Programm zur Berechnung unregelmäßiger Flächen zu entwerfen. Schließlich wäre diese Arbeit nicht zustandegekommen ohne die Unterstützung der Mitarbeiterinnen des Tierlabors, des Histologischen Labors, der Fotoabteilung und des klinisch-chemischen Labors, wofür ich mich herzlich bedanke.

Frau Waldherr, Frau Krieg, Frau Sixtl, Herr Dr. Scheuber, Herr Saringer und Herr Osei-Wusu halfen bei der Betreuung der Versuchstiere im Tierlabor. Frau Meier und Frau Gossner betreuten mich während meiner Arbeit im Histologischen Labor. In der Fotoabteilung konnte mit Hilfe von Herrn Pruy und Herrn v. Mankowsky ein großer Teil der photographischen Arbeiten verrichtet werden. Die Cholesterin- und Triglyceridbestimmungen wurden im klinisch-chemischen Labor von Herrn Prof. Fritz durchgeführt.

9..Lebenslauf

Am 25. August 1960 wurde ich, Klaus Wilhelm Pohl, als zweiter Sohn von Hildegard Pohl, geb. Schmid, und Georg Pohl in München geboren. Von 1966 bis 1970 besuchte ich die Volksschule an der Turnerstraße in München und von 1970 bis 1979 das Gymnasium an der Fehwiesenstraße, das Michaeli-Gymnasium in München, das Ernst-Mach-Gymnasium in Haar und das Gymnasium Grafing, wo ich 1979 das Abitur mit der Note 1,2 ablegte.

Im Wintersemester 1979/80 begann ich mit dem Studium der Chemie, wechselte dann zum Sommersemestser 1980 das Studienfach und studierte bis Mai 1986 Medizin an der Ludwig-Maximilians-Universität München. Am 5.6.1986 wurde mir die Approbation als Arzt erteilt.

Seit September 1986 arbeite ich als Assistenzarzt in der Chirurgischen Abteilung des Kreiskrankenhauses Landau a.d. Isar.

